



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**SKRIPSI - ME 141501**

**ANALISA TEGANGAN PADA *VERTICAL SUBSEA GAS PIPELINE* AKIBAT PENGARUH ARUS DAN GELOMBANG LAUT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Rafli Ramadani**

**NRP 4211 100 017**

**Dosen Pembimbing :**

- 1. Ir. Hari Prastowo, M. Sc**
- 2. Sutopo Purwono Fitri, ST., M. Eng, Ph. D.**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**2015**



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - ME 141501**

**STRESS ANALYSIS ON VERTICAL SUBSEA GAS  
PIPELINE DUE EFFECT OF CURRENTS AND SEA  
WAVES BY FINITE ELEMENT METHOD**

**Rafli Ramadani**

**NRP 4211 100 017**

**Supervisor :**

- 1. Ir. Hari Prastowo, M. Sc**
- 2. Sutopo Purwono Fitri, ST., M. Eng, Ph. D.**

**DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING**

**Faculty of Marine Technology**

**Sepuluh Nopember Institute of Technology**

**Surabaya**

**2015**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**ANALISA TEGANGAN PADA *VERTICAL SUBSEA GAS***  
***PIPELINE* AKIBAT PENGARUH ARUS DAN**  
**GELOMBANG LAUT DENGAN METODE ELEMEN**  
**HINGGA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Rafli Ramadani

Nrp. 4211 100 017

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :

Dr. Ir. Agoes A. Masroeri, M. Eng



SURABAYA  
JULI 2015

## LEMBAR PENGESAHAN

### **ANALISA TEGANGAN PADA *VERTICAL SUBSEA GAS PIPELINE* AKIBAT PENGARUH ARUS DAN GELOMBANG LAUT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

#### **TUGAS AKHIR**

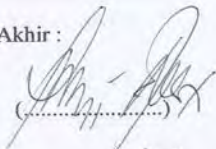
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

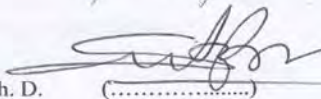
Oleh :  
Rafli Ramadani  
Nrp. 4211 100 017

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Hari Prastowo, M. Sc

  
(.....)

Sutopo Purwono Fitri, ST., M. Eng, Ph. D.

  
(.....)

SURABAYA  
JULI 2015

# **ANALISA TEGANGAN PADA *VERTICAL SUBSEA GAS PIPELINE* AKIBAT PENGARUH ARUS DAN GELOMBANG LAUT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Nama Mahasiswa** : Rafli Ramadani  
**NRP** : 4211100017  
**Jurusan** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing** : 1. Ir. Hari Prastowo, M. Sc  
2. Sutopo Purwono Fitri, St., M.Eng, Ph.D.

## **ABSTRAK**

Salah satu cara pendistribusian fluida gas dari *offshore* menuju ke konsumen adalah dengan menggunakan pipa gas bawah laut. Pipa gas bawah laut merupakan salah satu cara utama yang paling cepat, aman, ekonomis, dan dapat diandalkan dalam pendistribusian gas dari *offshore*. Faktor tegangan pada jalur pipa gas bawah laut merupakan kunci utama dalam proses operasinya. Tegangan tersebut dapat disebabkan dari beban internal pada pipa tersebut ataupun beban eksternal yang berasal dari lingkungan dimana pipa tersebut beroperasi. Untuk mengetahui distribusi tegangan pada pipa akibat beban eksternal berupa arus dan gelombang laut maka dilakukan simulasi dengan metode Computational Fluid Dynamic (CFD) menggunakan software SOLIDWORKS untuk pembuatan obyek dan domain yang selanjutnya disimulasikan menggunakan software ANSYS FLUENT dan AQWA 14. Simulasi dilakukan pada pipa vertikal dimana dalam simulasi pipa tersebut dibagi menjadi tiga bagian. Pipa bagian atas memiliki panjang pipa sebesar 7700 mm pada garis air 15400 mm – 23000 mm, pipa bagian tengah memiliki panjang 7700 pada garis air 7700 mm – 15400 mm, dan pipa bagian bawah memiliki panjang 4650 mm untuk pipa lurus dan memiliki tambahan elbow 90° dengan jari-jari sebesar 3050 mm berada pada garis air 0 mm – 7700 mm. Pipa bagian bawah dan

tengah adalah bagian pipa yang mendapatkan beban arus, sedangkan pipa bagian atas adalah bagian pipa yang mendapat beban gelombang. Selanjutnya, simulasi dilakukan dengan variasi kecepatan arus sebesar 0.48 m/s untuk potongan pipa bagian tengah dan 0.75 m/s untuk potongan pipa bagian bawah. Sedangkan untuk pipa bagian atas disimulasikan dengan periode gelombang sebesar 6.4 s dengan tinggi gelombang sebesar 2.3 m. dari hasil pemodelan dan simulasi didapatkan distribusi tegangan dan tegangan maksimum untuk setiap potongan pipa. Potongan pipa bagian bawah memiliki tegangan maksimum sebesar 1830.629 Pa. Potongan pipa bagian tengah memiliki tegangan maksimum sebesar 18.68415 Pa. potongan pipa bagian atas memiliki tegangan maksimum sebesar 6733.2 Pa. Dari ketiga simulasi tersebut dapat disimpulkan bahwa beban gelombang memiliki dampak yang paling besar untuk pipa vertikal tersebut. Umur sisa kelelahan untuk pipa vertikal adalah sebesar 9775722903 tahun untuk  $m = 5.0$ .

# **STRESS ANALYSIS ON VERTICAL SUBSEA GAS PIPELINE DUE EFFECT OF CURRENTS AND SEA WAVES BY FINITE ELEMENT METHOD**

**Student Name : Rafli Ramadani**  
**NRP : 4211100017**  
**Departement : Marine Engineering**  
**Supervisor : 1. Ir. Hari Prastowo, M. Sc**  
**2. Sutopo Purwono Fitri, St., M. Eng, Ph.D.**

## **ABSTRACT**

Subsea gas pipeline is a way to distributing fluid (gas) from offshore to consumer. It is the main ways the most rapid, safe, economical, and reliable to distributing gas from offshore. Stress on the pipeline is a main factor in the process of operation. The stress can caused by internal load or external load where the pipeline operates. To determine stress distribution on the pipeline caused by external load in the form of currents and sea waves then be simulated by Computational Fluid Dynamic (CFD) method used SOLIDWORKS software for object creation and subsequent domains simulated using ANSYS FLUENT and AQWA 14 software. Simulations performed on vertical pipeline which divided on three parts. The length of the upper part is 7700 m on the 15400 mm – 23000 mm water line, the length of the middle part is 7700 on the 7700 mm – 15400 mm water line, and the length of the lower part is 4650 mm for the straight pipe and has an addition elbow 90° with radius of 3050 mm on the 0 mm – 7700 mm water line. Low and middle part of pipe is getting current load, and top part of pipe is getting sea wave load. Then do the simulations with current speed variation of 0.48 m/s for the middle part and 0.75 m/s for the lower part. For the upper part simulated with wave period of 6.4 s and height of wave of 2.3 m. The results of simulations is stress distribution and maximum stress in each part. Lower part has a

maximum stress of 1830.629 Pa. Middle part has a maximum stress of 18.68415 Pa. Upper part has a maximum stress of 6733.2 Pa. Of the three simulation it can be concluded that the burden was the greatest wave impact for the vertical pipe. Age residual fatigue for vertical pipe 9,775,722,903 years for  $m = 5.0$ .



## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan lancar. Skripsi ini berjudul **“Analisa Tegangan pada *Vertical Subsea Gas Pipeline* Akibat Pengaruh Arus dan Gelombang Laut dengan Metode Elemen Hingga.”**

Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Insitut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Tentunya untuk menyelesaikan skripsi tidak lepas dari dukungan berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan kesabaran serta kesehatan sehingga skripsi ini mampu penulis selesaikan.
2. Kedua orang tua penulis (ibu tercinta yaitu Sutarmi dan ayahanda Heri Prijono) yang selalu memberi dorongan yang tidak ada hentinya.
3. Bapak Ir. Hari Prastowo, M. Sc dan Bapak Sutopo Purwono Fitri, ST., M. Eng, Ph. D. selaku dosen pembimbing tugas skripsi penulis yang telah memberikan arahan, ilmu, serta saran selama proses pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Sutopo Purwono Fitri, ST., M. Eng, Ph. D. selaku dosen wali yang selalu memberikan semangat, dukungan, serta saran dalam perkuliahan mulai dari awal semester hingga sekarang.
5. Bapak Fahmi, ST. asisten manajer bidang teknik PT. Nusantara Regas yang membantu penulis mendapatkan data *subsea gas pipeline*.

6. Bapak Ir. Murdjito, M. Sc., M. Eng. yang telah membantu penulis mendapatkan data lingkungan perairan di Jakarta Utara.
7. Akmal, Ayudhia, Clinton, Dewa Gede, Febrian, Fachrul, Putri, Victor, Tanjung, Yosi yang selalu setia saling memberikan dukungan mulai dari awal kuliah hingga sekarang.
8. Teman-teman angkatan 2011 yang selalu memberikan bantuan moril dan terima kasih atas rasa kekeluargaan yang telah diberikan kepada penulis.
9. Hamzah, Farul, dan Arvina, teman-teman Teknik Kelautan 2011 dan Mas Pandika yang mau meluangkan waktunya untuk berbagi ilmu kepada penulis.
10. Segenap member dan pengurus laboratorium MMS yang telah menemani dan membantu pengerjaan skripsi ini.
11. Andre, Nilam, Otto, dan teman-teman member MPP lainnya yang selalu menghibur dan memberikan keceriaan dalam proses pengerjaan skripsi.
12. Mbak Aini, Mbak Tika, Mas Herder, Mas Bimo, Mas Angga, Ogi, Dhafi, Evan, Tamara selaku teman-teman di SYC 2015 yang membantu memberi semangat kepada penulis.
13. Serta berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala saran serta masukan yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dan kemajuan dalam skripsi ini.

Semoga Allah SWT melimpahkan berkah dan rahmat-Nya kepada kita semua dan semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat dikemudian hari. Amin.

Surabaya, Juli 2015  
Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK

ABSTRACT

KATA PENGANTAR.....i

DAFTAR ISI..... iii

DAFTAR GAMBAR ..... ix

DAFTAR TABEL..... xi

BAB I ..... 1

PENDAHULUAN..... 1

1.1. Latar Belakang..... 1

1.2. Perumusan Masalah ..... 3

1.3. Batasan Masalah: ..... 3

1.4. Tujuan Skripsi..... 4

1.5. Manfaat Skripsi..... 4

BAB II..... 5

TINJAUAN PUSTAKA..... 5

2.1. Umum ..... 5

2.2. Dasar Teori ..... 6

2.2.1. Standard dan Code Sistem Perpipaan. 6

2.2.2. Beban-Beban pada Pipa Bawah Laut  
Vertikal (Riser) ..... 6

2.2.2.1. Beban Lingkungan (*environmental loads*)..... 7

2.2.2.2.	Beban Angin ( <i>wind loads</i> ) .....	7
2.2.2.3.	Beban-Beban Hidrodinamika ( <i>hydrodynamics loads</i> ).....	9
2.2.2.4.	<i>Flow Induced Cyclic Loads</i> .....	10
2.2.2.5.	Gerakan <i>platform</i> .....	11
2.2.2.6.	Beban Rancang Spesifik .....	11
2.2.3.	Teori Gelombang.....	12
2.2.3.1.	Teori Gelombang Linier .....	12
2.2.3.1.1.	Persamaan Pengatur.....	13
2.2.3.1.2.	Syarat Batas .....	14
2.2.3.1.3.	Klasifikasi Gelombang .....	15
2.2.4.	Gaya Gelombang .....	15
2.2.4.1.	Persamaan Morison .....	15
2.2.4.2.	Teori Froude-Krylov.....	17
2.2.4.3.	Teori Difraksi.....	17
2.2.5.	Konvensi Arah.....	18
2.2.6.	Gaya Apung.....	18
2.2.7.	Tegangan-Tegangan Pada Pipa Bawah Laut.....	19
2.2.7.1.	<i>Hoop Stress</i> .....	20
2.2.7.2.	<i>Bending Stress</i> .....	20
2.2.7.3.	<i>Poisson Stress</i> .....	20
2.2.7.4.	<i>Thermal Stress</i> .....	21
2.2.8.	Computational Fluid Dynamic (CFD) .....	21

2.2.8.1. <i>Pre-processor</i> .....	22
2.2.8.2. Solver .....	22
2.2.8.3. Post-Processor.....	23
2.2.9. Metode Elemen Hingga.....	23
2.2.10. Ansys Aqwa .....	24
2.2.10.1. Pembebanan pada Ansys Aqwa.....	25
2.2.10.1.1. Gelombang Laut .....	25
2.2.10.1.1.1. Gelombang Reguler .....	25
2.2.10.1.1.2. Gelombang Irreguler.....	26
2.2.10.1.2. Arus Laut .....	26
2.2.11. Persamaan Morison .....	27
2.2.12. Ansys FLUENT .....	27
2.2.13. Perkiraan Umur Kelelahan Pipa .....	30
2.2.13.1. Penentuan Siklus Kelelahan dengan Pendekatan Palmgreen-Miner Rule ....	31
2.2.13.2. Umur Kelelahan Pipa.....	34
BAB III.....	35
METODOLOGI .....	35
3.1. Umum .....	35
3.2. Metodologi Skripsi .....	35
3.2.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah ..	35
3.2.2. Studi Literatur .....	35
3.2.3. Pengumpulan Data.....	35
3.2.4. <i>Pipeline Design Data</i> .....	36

3.2.5.	Pemodelan dan Simulasi Distribusi Tegangan Pipa Vertikal .....	37
3.2.6.	Analisa Pipa Vertikal .....	37
3.2.7.	Kesimpulan Dan Saran .....	37
3.3.	Flow Chart Skripsi .....	37
BAB IV	.....	59
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	.....	59
4.1.	Umum .....	59
4.2.	Penentuan Parameter .....	59
4.3.	Proses Analisa Simulasi Model .....	60
4.3.1.	Penggambaran <i>Geometry</i> .....	60
4.3.1.1.	Penggambaran <i>Geometry</i> Pembebanan Arus.....	60
4.3.1.2.	Penggambaran <i>Geometry</i> Pembebanan Gelombang.....	62
4.3.2.	Proses <i>Meshing Geometry</i> .....	63
4.3.3.	<i>Boundary</i> .....	65
4.3.4.	<i>Solver</i> .....	67
4.4.	Tahap Pemberian Input.....	67
4.5.	Input Nilai Pembebanan Arus Pipa Bawah .....	67
4.5.1.	Hasil Simulasi.....	68
4.6.	Input Nilai Pembebanan Arus Pipa Tengah .....	69
4.6.1.	Hasil Simulasi.....	70

4.7. Input Nilai Pembebanan gelombang Pipa Atas .....	72
4.7.1. Hasil Simulasi.....	72
4.8. Perhitungan Umur Kelelahan Pipa .....	75
BAB V .....	77
KESIMPULAN DAN SARAN .....	77
5.1. Kesimpulan.....	77
5.2. Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA .....	79
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. data <i>vertical subsea gas pipeline</i> PT. Nusantara Regas .....	2
Tabel 2. 1. Klasifikasi gelombang.....	15
Tabel 2. 2. Kriteria aplikasi metode .....	17
Tabel 3. 1. Data properties pipa tengah dan bawah .....	42
Tabel 3. 2. Data properties pipa atas .....	48
Tabel 4.1. Nilai input pada pembebanan arus pipa bagian bawah.....	67
Tabel 4.2. Nilai input pada pembebanan arus pipa bagian tengah.....	70
Tabel 4.3. Nilai input pada pembebanan gelombang pipa bagian atas .....	72



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Skema terbentuknya lapisan geser ( <i>shear layer</i> ) yang selanjutnya akan membentuk vortek A dan B .....	9
Gambar 2. 2. Skema mekanisme terjadinya pelepasan vortex ( <i>vortex shedding</i> ) pada sebuah riser dalam aliran steady (penampang 2-D).....	11
Gambar 2. 3. Sketsa definisi profil gelombang (Ignatius, 2007) .....	13
Gambar 2. 4. Sketsa definisi gaya gelombang Morison pada silinder vertikal (Ignatius, 2007).....	16
Gambar 2. 5. Koordinat global (metocean, 2014).....	18
Gambar 2. 6. Gaya apung (Wikipedia, 2008) .....	19
Gambar 2. 7. Tekanan internal dan tekanan eksternal pada penampang melintang pipa bawah laut (Banu, 2013) .....	20
Gambar 2. 8. <i>Solid elements</i> dengan <i>nodes</i> (cook, 1989) ..	24
Gambar 2. 9. Alur formulasi solver (hanum, 2010) .....	30
Gambar 2. 10. Tabel <i>S-N curve</i> di <i>seawater</i> dengan <i>cathodic protection</i> .....	33
Gambar 2. 11. <i>Plotting stress S-N curve</i> di <i>seawater</i> (DNV RP C 203).....	33
 Gambar 3. 1. Properties pipa pada <i>feature engineering data</i> .....	 43
Gambar 3. 2. Pemodelan geometri .....	44
Gambar 3. 3. <i>Meshing</i> .....	45
Gambar 3. 4. <i>Set up</i> .....	46
Gambar 3. 5. Results .....	46
Gambar 3. 6. <i>Properties</i> pipa pada <i>feature engineering data</i> .....	50

Gambar 3. 7. Pemodelan pipa dengan menggunakan “geometry” .....	51
Gambar 3. 8. Pembebanan ditinjau kondisi perairan .....	52
Gambar 3. 9. <i>Hydrodynamic diffraction</i> .....	53
Gambar 3. 10. <i>Analysis settings</i> .....	53
Gambar 3. 11. <i>Detail of gravity</i> .....	54
Gambar 3. 12. <i>Structure selection</i> .....	54
Gambar 3. 13. Detail gelombang <i>multi direction</i> .....	55
Gambar 3. 14. Detail gelombang <i>single direction</i> .....	55
Gambar 3. 15. <i>Detail of wave frequencies</i> .....	56
Gambar 3. 16. Detail <i>meshing</i> .....	57
 Gambar 4. 1. Geometry pipa bagian tengah dan <i>boundary</i> nya...	61
Gambar 4. 2. Geometry pipa bagian bawah dan <i>boundary</i> nya.....	62
Gambar 4. 3. <i>Geometry</i> pipa bagian atas .....	63
Gambar 4. 4. <i>Meshing</i> obyek dan pendefinisian komponen pada Ansys FLUENT .....	64
Gambar 4. 5. <i>Meshing</i> obyek dan pendefinisian komponen pada Ansys Hydrodynamic diffraction .....	64
Gambar 4. 6. <i>Wall boundary</i> .....	65
Gambar 4. 7. <i>Inlet boundary</i> .....	66
Gambar 4. 8. <i>Boundary</i> pemodelan pembebanan gelombang .....	66
Gambar 4. 9. Distribusi tegangan pada pipa bagian bawah	69
Gambar 4. 10. Distribusi tegangan pada pipa bagian tengah .....	71
Gambar 4. 11. <i>Hydrostatic report</i> .....	73
Gambar 4. 12. Distribusi tegangan pada pipa bagian atas .	74

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Program pemerintah mengenai konversi minyak ke gas saat ini merupakan terobosan penting dalam mengatasi permasalahan pada pengembangan dan pemanfaatan energi, sekaligus mengurangi tekanan terhadap RAPBN. Dampak yang nyata saat ini adalah banyaknya PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) yang menggunakan bahan bakar solar dikonversi menjadi PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas).

Salah satu cara pendistribusian fluida gas dari *offshore* menuju ke konsumen di darat dalam hal ini adalah Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) yaitu dengan menggunakan pipa gas bawah laut sebagai media transportasinya. Pipa gas bawah laut merupakan salah satu cara utama yang paling cepat, aman, ekonomis, dan dapat diandalkan dalam pendistribusian gas dari *offshore*. Faktor tegangan pada jalur pipa gas bawah laut merupakan kunci utama dalam proses operasinya. Kelebihan tegangan pada belokan jalur pipa atau bagian-bagian yang lain yang disebabkan oleh tekanan dari dalam pipa ataupun beban yang didapat dari kondisi lingkungannya, dapat mengakibatkan kerusakan pada pipa dan pipa beroperasi pada kondisi yang berbahaya. Keadaan tersebut sangat tidak diinginkan dalam kondisi operasi distribusi, sehingga hal tersebut mendapatkan perhatian yang lebih.

Pada skripsi ini akan dianalisa mengenai tegangan pipa gas bawah laut vertikal yang berasal dari FSRU (*Floating Storage and Regasification Unit*) Jawa Barat menuju ke ORF (*Onshore Receiving Facility*) Muara Karang. Pipa gas bawah laut vertikal ini menjadi perhatian yang lebih dikarenakan posisinya yang mengantung dan menerima beban dari kondisi dinamis perairannya yaitu berupa arus dan gelombang laut. Tujuannya adalah untuk mengetahui tegangan serta distribusi tegangan pipa gas bawah laut vertikal dan juga setelah diketahui tegangan dari

pipa bawah laut yang mendapat beban dinamis tersebut bisa dianalisa pula *fatigue life* nya.

*Vertical subsea gas pipeline* yang akan dianalisa adalah milik PT. Nusantara Regas dengan spesifikasi seperti berikut :

Tabel 1.1 data *vertical subsea gas pipeline* PT. Nusantara Regas

Properties	Unit	Value
Outside Diameter	mm	610
Thickness ( $t_{nom}$ )	mm	14.3 <sup>(1)</sup> and 17.5 <sup>(2)</sup>
Length Minimum	meter	12.15
Material Grade	-	C-Mn (DNV SAWL Grade 450 FUD)
Specified Minimum Yield Strength (SMYS)	MPa	450
Specified Minimum Tension Strength (SMTS)	MPa	535
NDT Level	-	NDT Level II (Ref. to Appendix D, DNV-OS-F101)
Density	Kg/m <sup>3</sup>	7850
Internal Corrosion Allowance	mm	1.00
Young's Modulus	Gpa	207
Poisson's Ratio	-	0.30
Thermal Expansion Coefficient	°C <sup>-1</sup>	11.7 x 10 <sup>-6</sup>
Thermal Conductivity	W/m°C	45
Design temperature	°C	Max 65°C, Min -29°C
End Finish	-	Bevel End (V-groove)

(Sumber : Laporan proyek subsea pipeline and onshore receiving facility (P/L & ORF) – West Java, Jakarta 2011)

Teknologi yang semakin pesat memudahkan seorang insinyur teknik dalam melakukan suatu simulasi, diantara adalah software ANSYS yang dapat digunakan untuk melakukan suatu analisa dan simulasi tegangan pipa. ANSYS bekerja dengan metode Computational Fluid Dynamic (CFD) serta Finite Element Metode (FEM), dimana penyelesaiannya pada suatu obyek dilakukan dengan mensimulasikan aliran fluida yang mengenai suatu obyek benda. Peraturan yang digunakan adalah DNV OS F101 dan DNV RP C203.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasar uraian dari latar belakang permasalahan, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimanakah distribusi tegangan pipa bawah laut vertikal akibat pengaruh arus dan gelombang laut ?
2. Berapakah tegangan terbesar yang terjadi pada pipa bawah laut vertikal ?
3. Berapakah fatigue life pipa bawah laut vertikal akibat dikenai beban arus dan gelombang laut ?

## **1.3 Batasan Masalah:**

1. Obyek yang dikaji terbatas pada analisa tegangan pipa vertikal pada jalur pipa gas bawah laut milik PT. Nusantara Regas, dari FSRU (*Floating Storage and Regasification Unit*) Jawa Barat menuju ke ORF (*Onshore Receiving Facility*) Muara Karang.
2. Tegangan yang dianalisa adalah tegangan lokal pada pipa vertikal.
3. Analisa tegangan berdasar kondisi dinamis perairan, yaitu berupa arus dan gelombang.
4. Beban arus dan gelombang yang digunakan adalah data arus dan gelombang terbesar.
5. Bagian pipa yang dianalisa untuk pemodelan arus adalah yang mendapat beban arus terbesar.

6. Bagian pipa yang dianalisa untuk pemodelan gelombang adalah yang mendekati permukaan laut sampai dengan gas platform.
7. Tidak mengkaji analisa tegangan berdasar kondisi statis yang berasal dari internal pipa dan VIV.
8. Tidak mengkaji ataupun membahas segala hal yang berhubungan dengan korosi perpipaan pada sistem perpipaan.
9. Mengacu pada DNV OS F101 dan RP C203
10. Beban angin diabaikan.

#### **1.4 Tujuan Skripsi**

Tujuan Penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui tegangan-tegangan yang terjadi pada pipa vertikal di jalur pipa bawah laut dari Floating Storage and Regasification Unit (FSRU) Jawa Barat – Onshore Receiving Facility (ORF) Muara Karang mengacu pada DNV OS F101 : *Submarine Pipeline System* 2012, untuk mengetahui distribusi tegangan pada pipa bawah laut vertikal yang dianalisa, mengetahui letak tegangan terbesar pada pipa tersebut, serta mengetahui *fatigue life* pipa tersebut berdasar DNV RP C203.

#### **1.5 Manfaat Skripsi**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan skripsi ini adalah :

1. Mengetahui hasil pengecekan tegangan pipa bawah laut vertikal yang dikenai beban dinamis dari kondisi lingkungan perairannya yang mengacu pada DNV OS F101 : *Submarine Pipeline System* 2012.
2. Mengetahui distribusi tegangan pada pipa bawah laut vertikal.
3. Mengetahui letak tegangan terbesar pada pipa vertikal bawah laut .
4. Mengetahui *fatigue life* dari pipa vertikal yang dianalisa berdasar DNV RP C 203.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Umum

*Subsea pipelines* digunakan untuk transportasi fluida seperti minyak atau gas dalam jumlah besar dengan jarak tertentu melalui laut. Pada umumnya *subsea pipeline* digunakan untuk mengangkut produk hidrokarbon. Pipeline bekerja selama 24 jam dan hampir bekerja selama 365 dalam setahun.

Dalam instalasi suatu pipa bawah laut terdapat bagian yang disebut dengan *riser*. *Riser* merupakan pipa vertikal yang menghubungkan fasilitas diatas permukaan laut dengan pipa bawah laut. Bagian-bagian *riser* dimulai dari katup pada fasilitas di atas air sampai dengan mengarah pada *elbow* di bawah laut yang menuju pada *subsea pipelines*. *Riser* seperti halnya struktur bawah laut lainnya akan menerima beban lingkungan laut sekitarnya. Beban-beban tersebut antara lain adalah arus laut, dan beban gelombang dan juga pergerakan anjungan. Pembebanan pada *riser* akan menimbulkan respon pada struktur tersebut. Seiring dengan waktu yang panjang ataupun akibat adanya respon *riser* yang berlebihan pada akhirnya akan mengakibatkan kelelahan (*fatigue*) pada struktur akibat pembebanan siklik yang berulang dalam jangka waktu yang lama *fatigue* akan terjadi pada *riser* tersebut dan akan mengakibatkan kerusakan pada *riser*.

Pipa bawah laut vertikal atau *riser* milik PT. Nusantara regas memiliki diameter sebesar 610 mm dan memiliki panjang 23 meter. Dalam kondisi sehari-hari, *riser* ini mendapatkan beban baik dari dalam yaitu yang berasal dari fluida gas yang mengalir di dalamnya dengan temperatur dan tekanan tertentu ataupun beban dari luar yang berasal dari kondisi lingkungan perairan Jakarta berupa gelombang dan arus laut.

Pentingnya kita melakukan analisa distribusi tegangan pada *riser* akibat pengaruh dari beban lingkungannya berupa arus dan gelombang laut adalah kita dapat mengetahui bagian-bagian *riser*

yang mendapat tegangan maksimum, dan dari hasil analisa tegangan tersebut akan dapat diketahui *fatigue life* dari *riser* tersebut sehingga didapatkan pula rekomendasi waktu untuk melakukan pembaharuan atau reparasi pada riser tersebut.

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1. Standard dan Code Sistem Perpipaan**

Suatu sistem perpipaan harus memperhatikan kelayakan rancangan baik dalam segi ekonomis ataupun segi mekanis. Kelayakan dari segi ekonomis suatu rancangan perpipaan sangat tergantung pada finansial perusahaan yang memiliki sistem perpipaan tersebut, namun tetap didasari dengan *code* dan *standard* yang berlaku guna menjamin keamanan saat sistem perpipaan tersebut dioperasikan. Kelayakan dari segi mekanis dapat dilakukan dengan melakukan suatu analisa seperti analisa untuk mengetahui tegangan pipa, analisa untuk mengetahui berat pipa, dan analisa lainnya.

Persyaratan *code* yang umum dipakai adalah sebagai berikut. **AS 2885** : *Pipeline-Gas and Liquid Petroleum*, **BS 8010** : *Code of Practice for pipeline part 3*, **DNV** : *rules for submarine pipeline system*, **ASME B31.4** : *ASME Code for Pressure Piping Systems (Liquid Petroleum Transportation)*, **ASME B31.8** : *ASME Code for Pressure Piping Systems (Gas Transmission & Distribution)*, **API R1111** : *Recommended Practice for Design, Construction, Operation & Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines*. *Codes* yang biasa dipakai adalah ABS, API, ASME B31, BS8010, DNV, dan ISO.

Data pipelines yang digunakan dalam penulisan skripsi ini menggunakan persyaratan *code* DNV, dan *codes* yang dipakai adalah DNV OS F101.

### **2.2.2. Beban-Beban pada Pipa Bawah Laut Vertikal (Riser)**

Pipa bawah laut vertikal atau yang sering dikenal dengan *riser* dalam operasinya menerima beban yang sangat banyak dan kompleks, yaitu meliputi Beban Lingkungan (*environmental*



*loads*), Beban angin (*wind loads*), beban-beban hidrodinamika (*hydrodynamics loads*), *flow induced cyclic loads*, gerakan *platform*, dan kondisi beban rancang spesifik. Masing-masing jenis beban yang terjadi pada riser diakibatkan oleh jenis input pembebanan yang berbeda-beda.

Analisa pada *riser* yang dilakukan dengan maksud untuk mengetahui distribusi tegangan dan juga *fatigue life* dari *riser* tersebut sesuai dengan *code* atau ketentuan yang telah ditetapkan. Penggolongan pembebanan pada *riser* berdasarkan pada jenis beban-beban yang terjadi secara umum dapat diklasifikasikan secara sederhana meliputi beban-beban Lingkungan (*environmental loads*), Beban angin (*wind loads*), beban-beban hidrodinamika (*hydrodynamics loads*), *flow induced cyclic loads*, gerakan *platform*, dan kondisi beban rancang spesifik. Seperti diuraikan sebagai berikut :

#### **2.2.2.1. Beban Lingkungan (*environmental loads*)**

Beban lingkungan merupakan beban yang bekerja pada pipa yang diakibatkan oleh lingkungan sekitar dan bukan merupakan beban fungsional atau beban *accidental*. Beban lingkungan yang bekerja pada pipa atau riser biasanya terdiri atas beban angin, beban gelombang, arus, beban hidrodinamik, dan fenomena lingkungan lainnya baik fenomena lingkungan yang ekstrem ataupun tidak. Beban lingkungan dikombinasikan untuk kondisi-kondisi pada saat fase operasi, masing-masing fase instalasi, dan periode terulangnya kembali beban lingkungan secara statistik (misal 1 tahun, 100 tahun dan lain-lain).

#### **2.2.2.2. Beban Angin (*wind loads*)**

Bagian *riser* yang berada di atas permukaan air laut juga perlu dipertimbangkan akibat dari pengaruh kondisi angin di sekitarnya. Besarnya kecepatan angin maksimum didapat dari estimasi analisis dari rekaman kondisi cuaca harian. Beban angin diperhitungkan dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$F = \frac{1}{2} \rho \cdot C_s \cdot A \cdot V^2 \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

Dimana :

$\rho$  = berat jenis udara

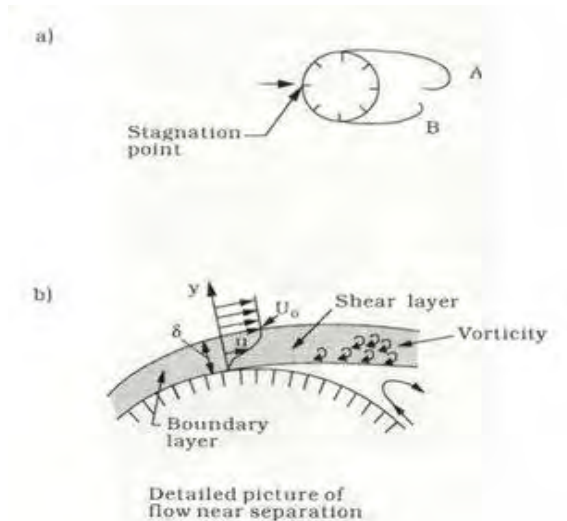
$C_s$  = koefisien bentuk

$A$  = luas obyek

$V$  = kecepatan angin

Selain itu *vortex shedding* dan *dynamic excitation* juga perlu diperhatikan. Bila suatu medan aliran fluida (air atau udara) terhalang oleh sebuah benda maka pola aliran fluida tersebut akan terganggu dari kondisi stasionernya lalu akan mencari kondisi kesetimbangan barunya. Misalkan pada kasus sebuah silinder yang berada dalam aliran steady, maka akan terjadilah suatu pola aliran tertentu di sekeliling permukaan silinder tersebut. Ternyata pola aliran ini salahnya tergantung pada suatu parameter yang disebut *Reynolds number* ( $Re$ ).

Berdasarkan banyak percobaan visualisasi aliran yang telah dilakukan, nilai  $Re$  akan menentukan bagaimana bentuk pola aliran yang akan terjadi. Misalnya bila nilai  $Re < 5$  maka pola aliran yang akan terjadi adalah pola aliran yang tidak didapati pusaran-pusaran lokal fluida (*vortex*) dan tidak terjadi pula pemisahan aliran pada saat aliran melewati silinder (*creeping flow*). Selanjutnya, bila kecepatan aliran dinaikkan, maka nilai  $Re$  makin bertambah besar, misal untuk rentang  $5 < Re < 40$ , maka akan terbentuk *vortex*. Dalam rentang inilah akan terbentuk sepasang *vortex* simetris di belakang silinder yang berputar stasioner tanpa terpecah selama rentang nilai  $Re$  tidak berubah.



**Gambar 2. 1.** Skema terbentuknya lapisan geser (*shear layer*) yang selanjutnya akan membentuk vortek A dan B

Namun ketika nilai  $Re$  terus dinaikkan, maka medan aliran makin menjadi tidak stabil yang mana lambat-laun formasi *vortex* mulai berantakan dengan pola-pola yang tertentu, maka pada saat itulah akan timbul suatu fenomena yang dinamakan pelepasan *vortex* (*vortex shedding*).

### 2.2.2.3. Beban-Beban Hidrodinamika (*hydrodynamics loads*)

Beban ini disebabkan oleh gerakan partikel air yang melewati yang melewati obyek yang terbenam, juga karena aksi gelombang dan arus yang ajeg, *drag force* (gaya hambat) karena kecepatan, gaya inersia karena akselerasi (percepatan), serta *codes* yang bisa dijadikan pedoman, dalam skripsi ini misalkan DNV. Satuan yang sering digunakan didalam analisa hidrodinamika adalah panjang, massa, waktu, temperatur, kecepatan, percepatan, gaya, tekanan, dan energi. Beban

hidrodinamik yang harus diperhitungkan menurut DNV OS F101 adalah sebagai berikut :

1. Gaya angkat dan gaya geser yang berada pada fase dimana kecepatan partikel air absolut atau relatif
2. Gaya inersia yang berada pada fase dimana percepatan partikel air adalah absolut atau relative
3. Dampak beban akibat gelombang
4. Variasi gaya apung berdasar gerakan gelombang

Arus relatif memiliki pergerakan yang konstan. Arus di laut biasanya terjadi akibat adanya pasang surut dan gesekan angin pada permukaan air (*wind-drift current*). Kecepatan arus bekerja pada arah horizontal dan bervariasi menurut kedalaman. *Wind-drift current* di permukaan biasanya diasumsikan sekitar 1% dari kecepatan angin pada ketinggian 30 ft di atas permukaan air. Untuk kebutuhan rekayasa, variasi arus merupakan fungsi profil pangkat 1/7 dan variasinya merupakan akibat gesekan angin diasumsikan linier terhadap kedalaman.

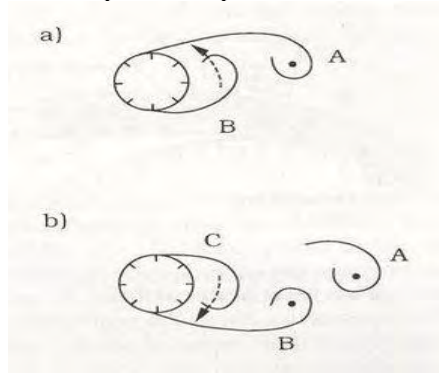
Dalam kondisi ekstrem (badai), arus terjadi bersamaan dengan gerakan air akibat gelombang. Arus yang terjadi bersamaan dengan gelombang akan mempengaruhi karakteristik gelombang. Besar pengaruh arus terhadap gelombang tergantung pada rasio kecepatan maksimum arus terhadap kecepatan gelombang.

#### **2.2.2.4. Flow Induced Cyclic Loads**

Beban ini ditimbulkan oleh *vortex shedding of spanning riser*. Jika  $Re > 40$  maka pasangan vortices yang terbentuk menjadi tidak stabil oleh gangguan kecil, sehingga salah satu vortex akan tumbuh lebih besar dari yang lainnya (lihat gambar terjadinya *vortex shedding*). Vorticity dalam vortex A berputar searah jarum jam, sedangkan vorticity dalam vortex B berputar melwah arah jarum jam. Selanjutnya gerakan aliran vorticity yang berlawanan arah jarum jam akan memotong aliran vorticity yang menyuplai vortex A, sehingga vortex A terlepas lalu menjadi

vortex bebas dan akhirnya terseret aliran ke arah belakang atau menjauhi riser.

Setelah vortex A terlepas, terbentuklah vortex baru menggantikan vortex A yaitu vortex C. maka selanjutnya, vortex B akan mengalami hal yang sama dengan vortex A sebelumnya, yaitu pertama, ukuran dan kekuatannya makin membesar lalu terpotong oleh vortex C dan akhirnya terlepas menjadi vortex bebas. Proses ini akan berlangsung terus-menerus setiap terjadi pelepasan vortex baru pada setiap sisi riser.



**Gambar 2. 2.** Skema mekanisme terjadinya pelepasan vortex (*vortex shedding*) pada sebuah riser dalam aliran steady (penampang 2-D)

#### 2.2.2.5. Gerakan *platform*

Gerakan *platform* disebabkan oleh beban-beban lingkungan yang tidak langsung, *elastic displacement of platform*, juga karena masalah *foundation settlement*.

#### 2.2.2.6. Beban Rancang Spesifik

Beban ini merupakan beban-beban dasar untuk kombinasi pembebanan pada riser. Beban-beban tersebut antara lain beban yang mengenai *riser* lewat *supports* (penopang-penopang) dari platform, beban-beban karena interaksi dengan *topsides piping*, beban karena interaksi dengan *pipeline*, beban-beban karena pengaruh berat dan *buoyancy*, beban-beban karena kondisi

lingkungan, beban-beban karena tekanan isi muatan, beban-beban karena pengaruh panas (*thermal effects*). Juga diperiksa kemungkinan *vortex shedding* yang bisa menyebabkan *fatigue*.

### 2.2.3. Teori Gelombang

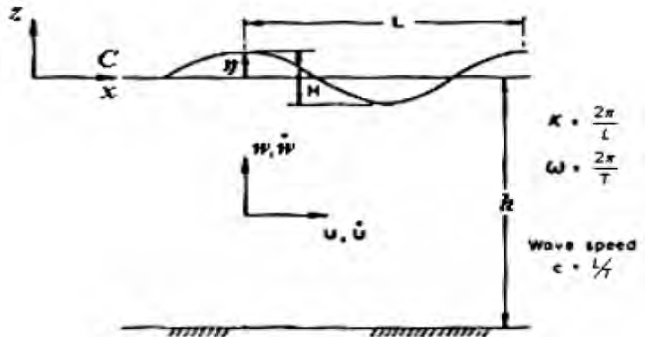
Pada umumnya bentuk gelombang di alam adalah sangat kompleks dan sulit untuk digambarkan secara sistematis dan terstruktur karena ketidak linierannya, terbentuk secara tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang tidak tentu (suatu deret gelombang mempunyai periode dan tinggi tertentu). Beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan bentuk pendekatan gelombang alam. Ada beberapa teori dengan berbagai sudut pandang mengenai ketelitiannya dan kekomplekannya untuk menggambarkan gelombang. Teori-teori tersebut diantaranya adalah teori airy, Stokes, Gertsner, Mich, dan Knoidal. Namun, teori yang paling sederhana adalah teori gelombang linier yang pertama kali ditemukan pada tahun 1845 oleh Airy.

#### 2.2.3.1. Teori Gelombang Linier

Teori gelombang linier diturunkan berdasar persamaan laplace untuk *irrotational flow* dengan kondisi batas dipermukaan air dan dasar laut. Kondisi batas di permukaan air dapat melinierkan persamaan Bernoulli untuk aliran mantap. Anggapan-anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut :

1. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa adalah konstan
2. Tegangan permukaan diabaikan
3. Gaya *coreolis* (akibat perputaran bumi) diabaikan
4. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan
5. Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak berotasi
6. Dasar laut adalah horizontal, tetap dan impermeable sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol

7. Amplitude gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air
8. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjalaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.



**Gambar 2. 3.** Sketsa definisi profil gelombang (Ignatius, 2007)

Kelemahan teori ini adalah tidak dapat digunakan pada perairan dangkal dan juga untuk tinggi gelombang yang besar. Keterbatasan tersebut dikarenakan pada formulasinya digunakan anggapan bahwa  $2A/L \ll 1$  dan  $2A/H \ll 1$ , dimana  $A$  adalah amplitude gelombang,  $L$  = panjang gelombang dan  $h$  adalah kedalaman perairan.

#### 2.2.3.1.1. Persamaan Pengatur

Teori gelombang linier dibangun dengan asumsi bahwa fluida air merupakan fluida yang tak mampu mampat (*incompressible*) dan *irrotational*. Dengan asumsi ini maka potensial kecepatan  $\phi$  akan memenuhi persamaan kontinuitas :

$$\nabla \cdot \mathbf{Q} = 0$$

$$\nabla \cdot \nabla \phi = 0$$

Dimana  $\mathbf{Q}$  adalah vector kecepatan.

### 2.2.3.1.2. Syarat Batas

#### a. Syarat Batas Dasar Perairan (*Bottom Boundary Condition*)

Teori gelombang ini mengasumsikan bahwa dasar perairan adalah datar/horizontal. Maka pada  $z = -h$ ,

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = w = 0$$

#### b. *Kinematic Free Surface Boundary Condition*

Syarat batas ini menjelaskan mengenai bagaimana keadaan pada permukaan air yaitu pada  $z = \eta(x,t)$  :

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (\text{Persamaan 2.2})$$

#### c. *Dynamic Free Surface Boundary Condition*

Kondisi batas dinamik ini sebagai syarat bahwa tekanan pada permukaan bebas adalah sama. Penurunan syarat batas ini diperoleh dari persamaan Bernoulli dengan memasukkan tekanan di permukaan,  $p_\eta$ , sama dengan tekanan atmosfer yaitu nol. Dituliskan pada  $z = \eta(x,t)$ , sebagai :

$$-\frac{\partial \phi}{\partial z} + \frac{1}{2}(u^2 + w^2) + gz = IC \quad (\text{Persamaan 2.3})$$

Dimana C = konstan

#### d. Syarat Batas Periodik

Karena gelombang Airy adalah gelombang sinusoidal, maka gelombang ini akan periodic terhadap jarak dan waktu, dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Phi(x,t) &= \phi(x + L, t) \\ \Phi(x,t) &= \phi(x, t + T) \end{aligned} \quad (\text{Persamaan 2.4})$$

Dimana L adalah panjang gelombang dan T adalah periode gelombang.



### 2.2.3.1.3. Klasifikasi Gelombang

Gelombang dapat diklasifikasikan menurut perbandingan dari kedalaman perairan dan panjang gelombang,  $h/L$ . berikut tabel yang menggambarkan kondisi gelombang :

**Tabel 2. 1.** Klasifikasi gelombang

$h/L$	Klasifikasi	Pendekatan
$0 < h/L \leq 1/20$	Gelombang perairan dangkal	Tank $kh \approx kh$
$1/20 < h/L \leq 1/2$	Gelombang intermediate	Tank $kh \approx kh$
$h/L > 1/2$	Gelombang perairan dalam	Tank $kh \approx 1$

### 2.2.4. Gaya Gelombang

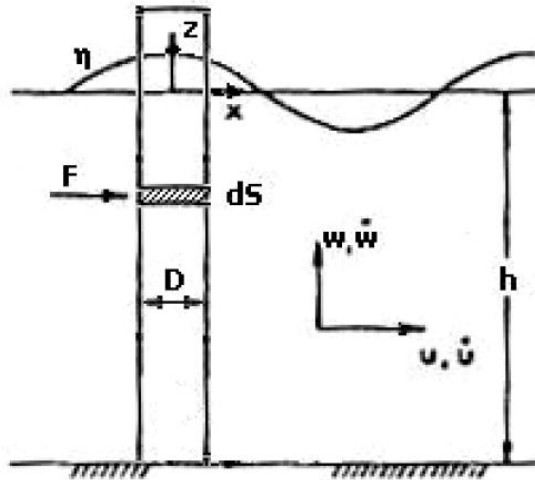
dalam analisa suatu pipa bawah laut perhitungan gaya gelombang air menjadi salah satu pekerjaan yang paling sukar Karena sangat kompleksnya interaksi antara gelombang air dan pipa. Gaya gelombang dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Persamaan Morison
2. Teori Froude-Krylov
3. Teori Difraksi

#### 2.2.4.1. Persamaan Morison

Persamaan ini ditemukan oleh Morison dan dikembangkan oleh O'Brien, Johnson, dan Shaaf (1950) dengan menurunkan gaya gelombang horizontal, dari dasar permukaan yang mengenai sebuah tiang atau pipa vertikal. Persamaan ini digunakan ketika  $D/L < 0.2$

Persamaan ini mengasumsikan bahwa gaya gelombang terdiri dari gaya seret dan gaya inersia. Terdapat koefisien  $C_D$  dan  $C_M$  yang besarnya ditentukan dalam sebuah eksperimen. Ketika gaya seret lebih dominan dalam suatu analisa maka persamaan ini akan digunakan.



**Gambar 2. 4.** Sketsa definisi gaya gelombang Morison pada silinder vertikal (Ignatius, 2007)

Persamaan Morison menyatakan bahwa gaya gelombang merupakan penjumlahan dari gaya seret yang muncul akibat kecepatan air dan gaya inersia akibat percepatan partikel air.

$$dF = dF_D + dF_I \quad (\text{Persamaan 2.5})$$

$$dF = 0.5 \rho C_D D u |u| dS + \rho (1 + C_A) A \dot{u} dS$$

dimana :

$dF_D$  = gaya per satuan panjang

$dF_I$  = gaya inersia per satuan panjang

$\rho$  = kerapatan air ( $\text{kg/m}^3$ )

$D$  = diameter (m)

$U$  = kecepatan partikel air arah  $x$  (m/s)

$\dot{u}$  = percepatan partikel air arah  $x$  ( $\text{m/s}^2$ )

$C_D$  = koefisien seret

$C_A$  = koefisien *added mass*

$C_M$  = koefisien inersia =  $(1 + C_A)$

$A$  = luas penampang =  $\frac{1}{4} \pi D^2$

Hasil integrasi tersebut akan menghasilkan rumus umum persamaan Morison :

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D A u |u| + \rho C_M \forall \dot{u} \quad (\text{Persamaan 2.6})$$

Dimana A merupakan luas penampang yang tegak lurus dengan kecepatan datang partikel air dan  $\forall$  merupakan volume yang terendam.

#### 2.2.4.2. Teori Froude-Krylov

Ketika gaya inersia lebih besar daripada gaya seret namun ukuran struktur masih relative lebih kecil jika disbanding dengan panjang gelombang maka dapat digunakan teori Froude-Krylov. Kelebihannya adalah pada benda-benda yang simetris, dan koefisien gayanya lebih mudah untuk ditentukan.

#### 2.2.4.3. Teori Difraksi

Teori difraksi digunakan ketika ukuran struktur sebanding dengan ukuran panjang gelombang, keberadaan struktur akan mengganggu medan gelombang yang datang di muka struktur. Kriteria aplikasi dari ketiga macam teori yang telah disajikan sebelumnya disajikan dalam tabel berikut :

**Tabel 2. 2.** Kriteria aplikasi metode

No	kriteria	Metode yang Digunakan
1	$D/L < 0,2$	Persamaan Morison
2	$D/L > 0,2$	Teori Difraksi
3	$D/W > 0,2$	Teori Froude-Krylov

Dimana :

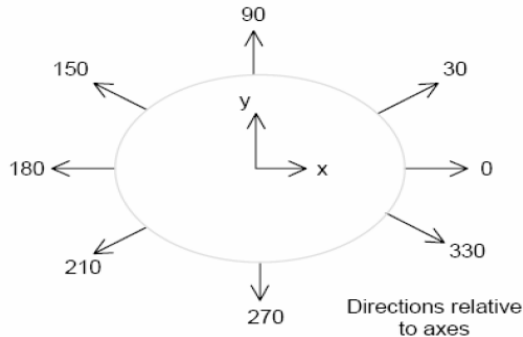
D = diameter struktur

L = Panjang gelombang

W =  $H / \tan \frac{2 \pi h}{L}$

#### 2.2.5. Konvensi Arah

Arah gelombang, arus ataupun angin dalam pembebanan mengikuti arah yang terdapat pada diagram cartesius, dimana arah positifnya mengikuti sumbu x dan y dari koordinat global.



**Gambar 2. 5.** Koordinat global (metocean, 2014)

### 2.2.6. Gaya Apung

Gaya apung merupakan gaya ke atas yang dikerjakan oleh fluida melawan berat dari benda yang tercelup air. Pada sebuah kolom fluida, tekanan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman sebagai hasil dari akumulasi berat air di atasnya. Sehingga benda yang tenggelam ke dalam fluida akan mengalami tekanan yang besar di dasar kolom fluida dibandingkan dengan ketika berada di dekat permukaan. Perbedaan tekanan ini merupakan gaya resultan yang cenderung mempercepat pergerakan benda ke atas atau menjadikan percepatan ke bawah dari suatu benda berkurang hingga nol dan mencapai kelajuan terminal. Besarnya gaya apung sebanding dengan besarnya beda tekanan antara permukaan dan dasar kolom, dan setara dengan berat fluida yang terpindahkan (displasmen) yang seharusnya mengisi ruang yang ditempati oleh benda. Sehingga benda yang memiliki massa jenis lebih besar dari fluida akan tenggelam, dan benda yang memiliki massa jenis lebih rendah dari fluida akan mengapung. Gaya yang diakibatkan oleh gelombang telah dihitung di dalam persamaan Morison. Besar gaya apung yang bekerja pada struktur terendam dalam fluida baik itu sebagian atau seluruhnya adalah :

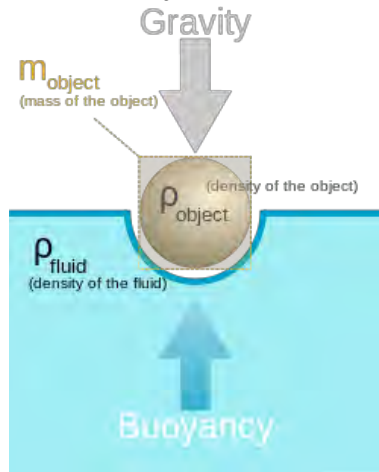
$$F_b = \gamma_f \cdot V \quad (\text{Persamaan 2.7})$$

Dimana :

$\gamma_f$  = berat jenis air

$V$  = volume benda atau struktur tenggelam

Kelajuan terminal dari suatu objek dalam skripsi ini merupakan subsea pipeline adalah kelajuan ketika jumlah dari gaya hambat dan gaya apung setara dengan gaya gravitasi, sehingga percepatan benda menjadi nol.



**Gambar 2. 6.** Gaya apung (Wikipedia, 2008)

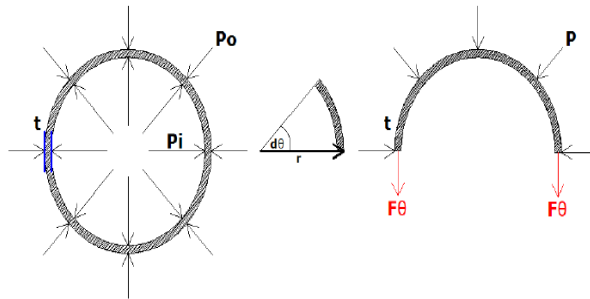
### 2.2.7. Tegangan-Tegangan Pada Pipa Bawah Laut

Gaya yang bekerja pada pipa baik gaya yang berasal dari internal pipa tersebut sendiri serta gaya lingkungan dari eksternal pipa dapat menimbulkan tegangan pada pipa. Contoh dari gaya internal yang berasal dari pipa itu sendiri adalah tekanan internal dan tegangan longitudinal. Gaya internal disebabkan oleh kondisi instalasi dan operasinya. Sedangkan gaya eksternal adalah tekanan hidrostatik yang berasal dari kondisi lingkungan pipa tersebut.

#### 2.2.7.1. *Hoop Stress*

*Hoop stress* atau tegangan tangensial merupakan tegangan yang diakibatkan adanya tekanan fluida yang diberikan pada suatu silinder sehingga muncul reaksi dari material pipa.

Tegangan ini secara statis dapat ditentukan besarnya, sehingga besar nilai tegangan yang terjadi tidak melampaui tegangan plastis dari struktur pipa yang bisa menyebabkan kegagalan pada struktur pipa bawah laut. Tekanan yang dimaksud adalah tekanan yang berasal dari luar ataupun dari dalam pipa tersebut.



**Gambar 2. 7.** Tekanan internal dan tekanan eksternal pada penampang melintang pipa bawah laut (Banu, 2013)

#### 2.2.7.2. *Bending Stress*

*Bending Stress* disebabkan oleh adanya momen tekuk yang dialami pada pipa yang disebabkan oleh beban, sehingga beban total penghasil gaya tekuk tersebut perlu diketahui. Beban total yang dimaksud merupakan beban kombinasi dari berat pipa dalam air dan gaya hidrodinamik.

#### 2.2.7.3. *Poisson Stress*

*Poisson Stress* merupakan tegangan yang muncul akibat adanya tegangan residual pada saat fabrikasi pipa sehingga menyebabkan pipa harus kembali pada keadaan semula dan hal tersebut mengakibatkan kontraksi pada dinding pipa.

#### 2.2.7.4. *Thermal Stress*

*Thermal Stress* adalah tegangan yang terjadi akibat adanya pemanasan pada pipa bawah laut. Dalam hal ini sangat penting untuk mengetahui karakteristik material pipa dikarenakan

tegangan ini jika berlebihan dapat menyebabkan terjadinya retakan akibat material yang tidak mampu menahan tegangan tersebut.

### **2.2.8. Computational Fluid Dynamic (CFD)**

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah suatu analisa sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait lainnya seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi komputer. Metode ini meliputi fenomena aliran fluida seperti sistem fluida cair dua fase, perpindahan massa dan panas, reaksi kimia, serta disperse gas atau pergerakan partikel tersuspensi.

Program CFD pada hal ini digunakan sebagai alat bantu pemodelan atas arus air yang menabrak suatu pipa yang terendam di dalamnya. Hal selanjutnya yang dilakukan dari pemodelan ini adalah melakukan simulasi dan analisa. Dari pemodelan ini nantinya akan diperoleh distribusi tegangan yang akan diolah lebih lanjut untuk diketahui letak tegangan terbesar.

Nicolai, et al. (2001) menjelaskan bahwa pemecahan persamaan matematik CFD ini menggunakan metode finite volume. Sistem pada persamaan keseimbangan dituliskan dalam koordinat bebas dan terintegrasi dalam pembatasan volume  $V$  dengan permukaan  $A$ .

Secara umum CFD bekerja dengan prinsip-prinsip formulasi persamaan transport yang berlaku, formulasi kondisi batas yang sesuai, pemilihan atau pengembangan kode-kode komputasi untuk mengimplementasikan suatu rumus nimerik yang digunakan. Pada prinsipnya CFD terdiri dari tiga elemen utama yaitu pro-processor, solver, dan post processor.

#### **2.2.8.1. Pre-processor**

Pre-processor meliputi masukan dari permasalahan aliran ke suatu program CFD dan transformasi dari masukan tersebut ke bentuk yang cocok digunakan oleh solver. Langkah-langkah pada proses ini adalah sebagai berikut :

- Pendefinisian geometri yang dianalisa.

- Pembagian daerah domain menjadi bagian-bagian kecil yang tumpang tindih.
- Seleksi fenomena fisika dan kimia yang perlu untuk dimodelkan.
- Pendefinisian properti fluida.
- Pemilihan batas kondisi (*boundary condition*) pada volume kontrol atau sel yang berhimpit dengan batas domain.
- Penyelesaian permasalahan aliran (kecepatan, temperature, tekanan, dan lain-lain) yang didefinisikan pada titik nodal pada setiap sel. Keakuratan penyelesaian CFD ditentukan oleh jumlah sel dalam *grid*.

#### 2.2.8.2. Solver

Solver dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu *finite difference*, *finite element*, dan metode *spectral*. Langkah-langkah pada proses solver adalah sebagai berikut :

- Prediksi variabel aliran yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana.
- Diskretisasi dengan substitusi prediksi-prediksi tersebut menjadi persamaan-persamaan aliran utama yang berlaku dan kemudian melakukan manipulasi matematis.
- Penyelesaian persamaan aljabar. Pada proses *solver*. Terdapat tiga persamaan atur aliran fluida yang menyatakan hukum kekekalan fisika, yaitu :
  1. Massa fluida kekal
  2. Laju perubahan momentum sama dengan resultansi gaya pada partikel fluida (Hukum II Newton)
  3. Laju perubahan energi sama dengan resultansi laju panas yang ditambahkan dan laju kerja yang diberikan pada partikel fluida (Hukum I termodinamika)

#### 2.2.8.3. Post-Processor

Post processor merupakan tahap visualisasi dari tahapan sebelumnya. Post processor semakin berkembang dengan majunya engineering workstation yang mempunyai kemampuan



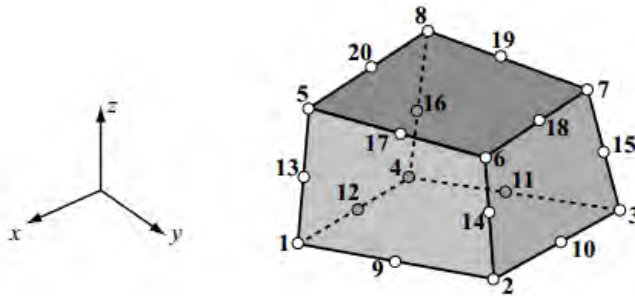
grafik dan visualisasi cukup besar. Alat visualisasi tersebut antara lain :

- Domain geometri dan display
- Plot vector
- Plot contour
- Plot 2D dan 3D surface
- Particle tracking
- Manipulasi tampilan (translasi, skala dan sebagainya)
- Animasi display hasil dinamik

Dalam simulasi, model-model yang digunakan didiskreditkan dengan metode formulasi dan diselesaikan dengan menggunakan bermacam-macam algoritma numerik. Metode diskretisasi dan algoritma yang terbaik digunakan tergantung dari tipe masalah dan tingkat kedetailan yang dibutuhkan.

### **2.2.9. Metode Elemen Hingga**

Pada prinsipnya, metode elemen hingga merupakan metode yang memperlakukan suatu sistem atau dalam hal ini adalah struktur pipa bawah laut sebagai gabungan dari elemen-elemen kecil yang digabungkan satu sama lain oleh titik-titik yang disebut *node*. Fungsi yang sederhana tersebut umumnya dipilih untuk mendekati distribusi atau variasi lendutan yang sesungguhnya pada tiap elemen. Fungsi yang seharusnya memenuhi syarat-syarat tertentu itu disebut dengan *displacement function*. Hasil yang diinginkan seperti besar lendutan dihitung pada tiap *node*, sehingga hasil akhir yang diperoleh adalah harga pendekatan dari lendutan pada lokasi-lokasi dari sistem yang dianalisa.



**Gambar 2. 8.** *Solid elements dengan nodes* (cook, 1989)

#### 2.2.10. *Ansys Aqwa*

Ansys aqwa merupakan salah satu fitur dalam program ansys 14. Aqwa dapat mensimulasikan gelombang linier hidrodinamika pada suatu benda yang mengapung atau benda yang terpancang (kaku). Persamaan yang digunakan dalam simulasi tersebut adalah persamaan Morison yang divisualisasikan secara tiga dimensi radiasi dalam domain frekuensi. Analisa hidrostatik dan hidrodinamika juga dapat dilakukan oleh aqwa untuk suatu benda yang mengapung bebas pada permukaan suatu fluida. Aqwa dapat memperkirakan karakteristik keseimbangan dan stabilitas statis serta dinamis yang digabungkan dengan suatu konektor pada suatu benda di bawah beban lingkungannya. Beban lingkungan yang digunakan pada analisa tersebut contohnya adalah angin, gelombang, dan arus. Analisa statistik domain frekuensi yang digabungkan dari suatu benda terapung pada gelombang teratur ataupun tidak teratur juga dapat dilakukan oleh aqwa.

Gerakan pada suatu benda yang beroperasi pada gelombang regular ataupun non-regular dapat disimulasikan, dimana non linier Froude-Krylov dan gaya hidrostatiknya diestimasi pada permukaan gelombang yang datang. Selain itu suatu benda yang dikenai gelombang dari berbagai arah ataupun

dari satu arah saja dapat disimulasikan dibawah orde satu dan orde dua eksitasi gelombang. Pendekatan secara konvolusi digunakan untuk memperhitungkan efek memori kekuatan radiasi. Beban gelombang pada suatu benda yang mengapung yang dihitung selama simulasi radiasi di aqwa dapat dipetakan ke analisa elemen hingga.

### **2.2.10.1. Pembebanan pada Ansys Aqwa**

Informasi mengenai kondisi linkungan laut, seperti angin, gelombang dan arus, sangat penting untuk desain semua bangunan laut, dan informasi ini juga sangat penting untuk bangunan *offshore* yang terapung dimana kondisi hidridinamik di laut lepas lebih rumit daripada struktur yang terpancang.

#### **2.2.10.1.1. Gelombang Laut**

Gelombang laut terbentuk dari gelombang dengan frekuensi dan arah yang berbeda. Gelombang dari arah yang berbeda berinteraksi dan menyebabkan kondisi gelombang menjadi sangat susah untuk dimodelkan secara matematika. Aqwa dapat mensimulaikan teori gelombang orde pertama (*airy wave*) dan order kedua (*2<sup>nd</sup> stoke wave*) pada perairan dalam dan tak hingga. Serta, gelombang irregular yang tidak memiliki arah atau dari berbagai arah dapat dimodelkan dengan menggunakan pendekatan linier superposisi.

##### **2.2.10.1.1.1. Gelombang Reguler**

Gelombang regular terdiri dari gelombang linier reguler (*airy wave*) dan order kedua (*2<sup>nd</sup> stoke wave*). Berikut penjelasan dari kedua gelombang tersebut :

##### **1. Gelombang reguler linier**

Gelombang reguler linier (*airy wave*) dianggap sebagai gelombang laut sederhana, dan gelombang ini tergantung pada asumsi dari fluida yang homogen, *incompressible*, dan *inviscid* dan memiliki aliran *irrotational*. Sebagai tambahan, amplitudo gelombang diasumsikan kecil jika dibandingkan dengan

panjang gelombang dan kedalaman air. Maka permukaan bebas linier kondisi tersebut yang digunakan.

## 2. Orde kedua (*2<sup>nd</sup> stoke wave*)

Stoke orde kedua merupakan solusi untuk perairan yang membutuhkan tingkat kaurasi lebih tinggi jika dibandingkan dari teori gelombang linier. Stoke memasukkan ekspresi deret kecepatan potensial dalam persamaan laplace dan syarat batas dasar laut. Aqwa memungkinkan untuk melakukan simulasi dengan teori ini baik dalam kondisi gelombang yang normal ataupun berat.

### i. **Gelombang Irreguler**

Kebanyakan energi yang dihasilkan dari permukaan air laut merupakan kontribusi dari angin yang bertiup cepat di permukaan fluida dan membentuk gelombang. Sebuah gelombang diinduksi. Dalam kenyataannya teori linier digunakan untuk menunjukkan gelombang laut multi-directional sebagai penjumlahan dari sejumlah besar komponen gelombang. Representasi gelombang untuk laut yang tidak teratur dapat dicapai dengan spesifikasi spektrum gelombang. Secara matematis spektrum gelombang menyebar dari nol sampai frekuensi yang tidak terbatas. Namun pemeriksaan spektrum menunjukkan bahwa energi gelombang sering terkonsentrasi pada sebuah kumpulan yang relatif sempit, yang menentukan gelombang yang sebenarnya. Aqwa dapat menerima rumus spektrum gelombang, riwayat elevasi gelombang, dan kombinasi untuk laut yang tidak teratur.

### b. **Arus Laut**

Pembebanan arus biasanya diasumsikan bahwa arus bergerak secara horizontal namun juga sangat tergantung pada kedalaman laut. Terdapat beberapa perbedaan arus, seperti arus laut, arus thermohaline, arus tidal dan arus yang terbentuk karena gelombang internal pada batasan antara perbedaan dua massa

jenis air. Aqwa memungkinkan untuk mendefinisikan kecepatan arus seragam dan atau profil saat berada pada kedalaman :

- Arus seragam didefinisikan dengan kuantitas scalar positif ( $U_0$ ) and sudut arah ( $\Theta_0$  (in degrees)) dalam *Fixed Reference Axes* (FRA). Arus seragam didefinisikan konstan dari dasar laut sampai permukaan air laut.
- Arus profil didefinisikan sebagai kecepatan arus (amplitudo  $U_z$  dan arah  $\Theta_0$  (in degrees)) dengan posisi Z didefinisikan di FRA yang asli pada permukaan air. Nilai Z akan selalu bernilai negatif dan juga harus berurutan, dari dasar laut sampai ke permukaan air. Nilai antara kecepatan dan arah ditetapkan dan dihitung dengan interpolasi linier yang berdekatan dengan nilai yang ditetapkan.

## ii. Persamaan Morison

Pada dinamika fluida persamaan Morison merupakan persamaan semi empiris untuk gaya segaris pada suatu bentuk di fluida yang berosilasi. Persamaan morison digunakan untuk mengestimasi beban gelombang pada desain suatu platform atau bangunan lepas pantai lainnya, termasuk juga pipa bawah laut. Persamaan Morison menyatakan bahwa gaya gelombang dapat diekspresikan sebagai penjumlahan dari gaya seret (*drag force*) akibat kecepatan partikel air saat melewati struktur dan gaya inersia akibat percepatan partikel air. Koefisien kedua gaya tersebut dapat diperoleh pada sebuah eksperimen. Persamaan ini lebih tepat jika diterapkan pada kasus dimana struktur dimana gaya hambatnya signifikan, yakni ketika struktur berukuran realtif lebih kecil jika dibandingkan dengan panjang gelombang.

## iii. Ansys FLUENT

Pemodelan arus laut yang melewati sebuah pipa vertikal dapat dilakukan dengan menggunakan ansys FLUENT. Ansys FLUENT dapat memodelkan suatu masalah aliran fluida baik yang mampu mampat atau tak mampu mampat, serta laminar atau turbulen. Selain itu fluida yang bersifat steady state ataupun transient mampu juga dianalisa dengan menggunakan ansys

FLUENT. Dengan menggunakan ansys FLUENT dapat diketahui parameter-parameter aliran yang diinginkan. Distribusi tekanan, kecepatan aliran, laju aliran massa, distribusi temperatur, dan pola aliran fluida yang terjadi dapat diketahui pada tiap titik yang terdapat dalam sistem yang dianalisa.

Agar dapat memodelkan dan mensimulasikan dengan menggunakan ansys FLUENT maka terlebih dahulu membuat model geometri dan berbagai parameter simulasi yang terlebih dahulu ditentukan. Berbagai parameter pada ansys FLUENT harus ditentukan sebelum dapat dilakukan iterasi. Parameter tersebut antara lain adalah kondisi batas (lingkungan), sifat-sifat material, dan parameter lainnya yang dibutuhkan dalam pemodelan.

Untuk simulasi aliran tiga dimensi, harus ditentukan terlebih dahulu pula tipe kondisi batasnya (*boundary*). Jika tidak ditentukan maka ansys FLUENT akan mendefinisikan bidang sebagai dinding secara otomatis, dan setiap bidang dapat pula diberi nama untuk mempermudah melakukan spesifikasi *boundary*. Secara garis besar pemodelan pipa dengan pembebanan arus terdiri dari beberapa kondisi batas, yaitu :

*a. Velocity inlet*

Lokasi kondisi batas ini berada pada sisi masuk daerah saluran. Nilai masukan yang dibutuhkan adalah kecepatan aliran air, arah aliran, dan sifat turbulensi. Pada kondisi batas ini, kecepatan masuk aliran akan selalu tetap sepanjang iterasi.

*b. Pressure outlet*

Kondisi batas ini dipakai pada sisi keluar fluida. Kondisi batas ini dipilih apabila nilai tekanan static pada sisi keluaran diketahui atau minimal dapat diperkirakan mendekati nilai sebenarnya. Pada kondisi batas ini diperlukan nilai masukan berupa tekanan statis, arah aliran, dan besar turbulensi. Tekanan statis merupakan acuan pada bidang batas yang dipilih. Oleh karena itu,

nilai tekanan statis akan selalu tetap selama iterasi transient.

c. *Wall*

Seluruh dinding yang terdapat pada saluran didefinisikan sebagai wall. Tidak ada nilai yang harus dimasukkan pada kondisi batas ini apabila dinding tidak bergerak terhadap waktu, maka perlu untuk memasukkan kecepatan putar, sumbu putaran, dan titik asal putaran.

d. *Outflow*

Kondisi batas ini digunakan apabila parameter aliran pada keluaran sama sekali tidak diketahui. Kondisi batas ini hanya dapat digunakan untuk fluida inkompresibel dengan aliran berkembang penuh (*fully developed*). Kondisi batas ini tidak dapat digunakan bersamaan dengan *pressure outlet* atau *pressure inlet*.

e. *Continuum*

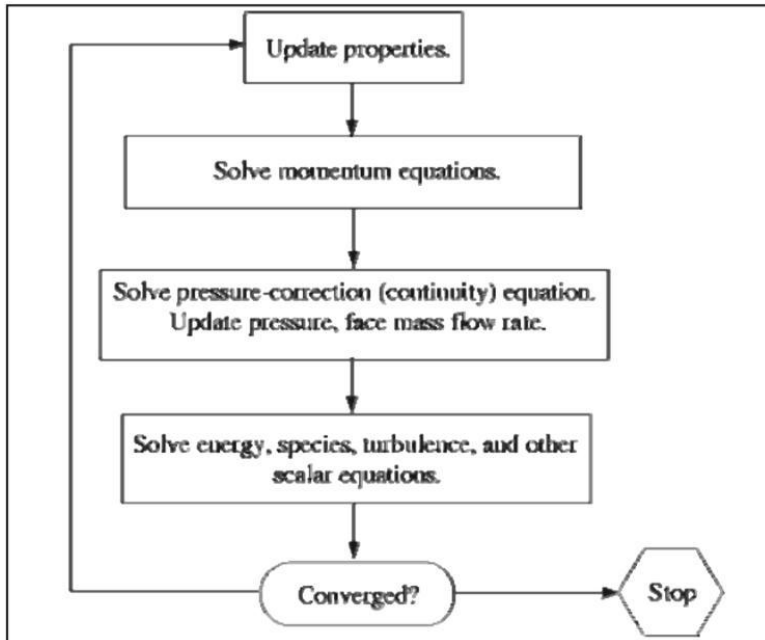
*Continuum* (volume yang dilewati aliran) harus didefinisikan. Jenis fluida dari kontinum dipilih berdasarkan fluida yang mengalir. Untuk kasus *Continuum* yang berputar terhadap waktu, maka titik asal putaran, arah putaran, dan besarnya kecepatan putar merupakan nilai yang harus dimasukkan.

ANSYS FLUENT menyediakan tiga formulasi solver, yaitu :

- *Segregated*
- *Coupled implisit*
- *Coupled eksplisit*

Formulasi *solver segregated* dan *coupled* mempunyai perbedaan pada cara penyelesaian persamaan kontinuitas, momentum, dan energi serta persamaan spesies transport (jika diperlukan). *Solver segregated* menyelesaikan persamaan-persamaan yang terlibat secara bertahap (terpisah antara satu persamaan dengan

persamaan yang lain), sementara *solver coupled* menyelesaikan semua persamaan secara bersamaan. Kedua formulasi *solver* menyelesaikan persamaan untuk besaran-besaran tambahan secara bertahap. *Solver coupled* implisit dan eksplisit mempunyai perbedaan pada cara melinierisasi persamaan-persamaan yang akan diselesaikan.



**Gambar 2. 9.** Alur formulasi solver (hanum, 2010)

#### iv. **Perkiraan Umur Kelelahan Pipa**

*Fatigue life* atau sisa waktu operasi merupakan jumlah siklus kelelahan yang terjadi pada suatu struktur hingga menyebabkan terjadinya kegagalan pada suatu struktur tersebut. Perhitungan *fatigue life* mengacu pada DNV RP C 203. Dalam DNV RP C 203 dijelaskan bahwa perhitungan *fatigue life* menggunakan pendekatan kurva S-N dengan metode *Palmgreen-Miner Rule*. Grafik S-N menampilkan korelasi antara rentang



tegangan (*stress range*),  $S$  (MPa atau  $N/mm^2$ ), dan jumlah siklus pembebanan yang mengakibatkan kelelahan ( $N$ ). Grafik diberikan dalam skala log-log. Dimana  $N$  adalah jumlah siklus pada tegangan  $S$  yang menyebabkan kerusakan struktur.

Komponen-komponen dasar dari analisa umur kelelahan adalah sebagai berikut :

1. Karakteristik siklus beban yang terjadi baik untuk kurun waktu pendek maupun panjang.
2. Perhitungan beban-beban siklus yang mengenai struktur.
3. Evaluasi siklus rentang tegangan pada suatu elemen yang ditinjau.
4. Perhitungan kerusakan pada elemen yang ditinjau akibat siklus rentang tegangan yang terjadi.
5. Evaluasi kekuatan elemen yang ditinjau.

Dalam desain suatu struktur pada kasus pipa bawah laut, salah satu kriterianya adalah memiliki waktu operasi yang tak hingga waktunya untuk dapat bertahan, karena adanya kegagalan akibat kelelahan pada pipa. Persyaratan tersebut ada agar struktur dari suatu pipa dapat memiliki tingkat tegangan maksimal yang melebihi ketahanan material dari pipa tersebut.

#### 1. **Penentuan Siklus Kelelahan dengan Pendekatan Palmgreen-Miner Rule**

Berdasarkan DNV RP C 203 untuk menentukan sisa waktu operasi harus mencari dahulu tingkat kelelahan dengan persamaan :

$$D_{fat} = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (\text{Persamaan 2.8})$$

Dimana :

$D_{fat}$  : *Accumulated fatigue damage*

$n_i$  : *Total number of stress cycles corresponding to the stress range*

$N_i$  : *Number cycles to failure at stress range*

Untuk mendapatkan besarnya nilai  $n$  dan  $N$  maka diperlukan kurva S-N. perhitungan umur kelelahan ini mengacu pada DNV RP F 105 dan DNV RP C 203. Melalui proses pemilihan jenis kurvanya dan kategori kurva S-N, maka nilai  $N$  dapat diperoleh melalui persamaan berikut (DNV RP C 203) :

$$\log N_i = \log a - m \log \Delta\sigma \quad (\text{Persamaan 2.9})$$

Dimana :

$\Delta\sigma$  : *stress range*

$a$  : *intercept of the design S-N curve with the log N axis*

$m$  : *negative inverse slope on the S-N Curve*

Nilai  $n$  dapat ditentukan dengan menggunakan grafik S-N yang ada pada DNV RP C 203 sesuai dengan nilai stress range. Peluang kejadian siklus tegangan pada nilai  $n$  berkisar 2% - 10%. Selain itu besarnya jumlah siklus tegangan  $n$  dapat dihitung dari persamaan berikut :

$$n_i = \frac{P_i \times H}{T_i} \quad (\text{Persamaan 2.10})$$

Dimana :

$P_i$  = frekuensi relative kejadian gelombang

$T_i$  = periode (detik)

$H$  = tinggi gelombang (m)

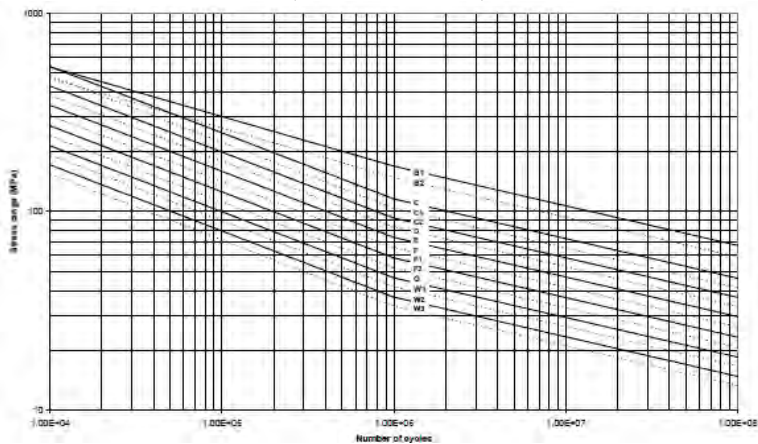
Kurva S-N yang digunakan nantinya sesuai dengan kategori masing-masing. Pemilihan jenis kurva S-N dan plotting tegangan dalam garfik kurva S-N dalam menentukan jumlah tegangan lelah yang terjadi pada struktur tersebut.

S-N curve	$N \leq 10^6$ cycles		$N > 10^6$ cycles	Fatigue limit at $10^7$ cycles <sup>*)</sup>	Thickness exponent $k$	Stress concentration in the S-N detail as derived by the hot spot method
	$m_1$	$\log \bar{a}_1$	$\log \bar{a}_1$ $m_2 = 5.0$			
B1	4.0	14.917	17.146	106.97	0	
B2	4.0	14.685	16.856	93.59	0	
C	3.0	12.192	16.320	73.10	0.15	
C1	3.0	12.049	16.081	65.50	0.15	
C2	3.0	11.901	15.835	58.48	0.15	
D	3.0	11.764	15.606	52.63	0.20	1.00
E	3.0	11.610	15.350	46.78	0.20	1.13
F	3.0	11.455	15.091	41.52	0.25	1.27
F1	3.0	11.299	14.832	36.84	0.25	1.43
F3	3.0	11.146	14.576	32.75	0.25	1.61
G	3.0	10.998	14.330	29.24	0.25	1.80
W1	3.0	10.861	14.101	26.32	0.25	2.00
W2	3.0	10.707	13.845	23.39	0.25	2.25
W3	3.0	10.570	13.617	21.05	0.25	2.50
T	3.0	11.764	15.606	52.63	0.25 for SCF $\leq 10.0$ 0.30 for SCF $> 10.0$	1.00

<sup>\*)</sup> see also 2.11

**Gambar 2. 10.** Tabel S-N curve di seawater dengan cathodic protection

(DNV RP C 203)



**Gambar 2. 11.** Plotting stress S-N curve di seawater (DNV RP C 203)

Pada perhitungan estimasi sisa waktu operasi harus dicari terlebih dahulu nilai rasio kelelahan kerusakan. Oleh karena itu, dalam penentuan rasio kelelahan kerusakan, semua komponen yang berasal dari sumber lainnya perlu dihitung lebih lanjut. Komponen tersebut meliputi adanya penambahan *safety factor* dan rasio *damage*.

Penentuan kurva S-N seperti gambar di atas berdasarkan pada struktur yang digunakan. Perlu adanya penyesuaian kurva S-N untuk mendapatkan grafik yang benar agar mendapatkan nilai jumlah siklus menuju gagal pada saat *stress range*.

## 2. Umur Kelelahan Pipa

Umur kelelahan suatu struktur dapat diperhitungkan setelah memperhitungkan siklus seluruh tegangan, dimana hal tersebut dilambangkan dengan variable  $T$ . melalui substitusi persamaan 2.1 ke persamaan 2.3, diperoleh persamaan kegagalan struktur akibat kelelahan sebagai berikut :

$$D = \frac{P_i \times T}{N_i \times T_i} \quad (\text{Persamaan 2.11})$$

Selanjutnya dari hubungan persamaan 2.4 tersebut bisa diturunkan umur kelelahan struktur dengan satuan tahun dengan persamaan berikut :

$$T = \frac{1}{\left(\frac{P_i}{N_i T_i}\right)} \quad (\text{Persamaan 2.12})$$

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

#### **1.1. Umum**

Metodologi merupakan uraian mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam suatu penelitian. Metodologi pada penulisan tugas akhir ini mencakup semua kegiatan yang dilakukan untuk memecahkan suatu masalah ataupun proses kegiatan analisa dan evaluasi terhadap permasalahan tugas akhir ini.

#### **1.2. Metodologi Skripsi**

Metodologi yang digunakan dalam tugas ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

##### **1.2.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah**

Penulisan skripsi ini diawali dengan mengidentifikasi dan merumuskan masalah mengenai pengerjaan yang akan dilakukan beserta batasan masalahnya. Hal ini bertujuan untuk menyederhanakan permasalahan sehingga mempermudah dalam pengerjaan skripsi.

##### **1.2.2. Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan dengan pengumpulan referensi mengenai analisa tegangan pipa, beserta gaya-gaya yang bekerja pada pipa dan *code* spesifikasi yang digunakan saat proses analisa. Tujuannya adalah untuk memperkuat permasalahan sebagai dasar teori dalam melakukan analisa sehingga hasilnya mampu dipertanggung jawabkan. Literatur yang digunakan bisa didapat dari buku, journal, paper, dan tugas akhir.

##### **1.2.3. Pengumpulan Data**

Data yang digunakan pada tugas akhir ini adalah data *subsea pipeline design* beserta dengan jalurnya sebagai acuan dalam analisa tegangan jalur pipa yang akan dilewati fluida gas. Analisa tegangan pipa yang dilakukan adalah dengan

menggunakan metode tak hingga yang ada pada software Ansys disertai dengan simulasi distribusi pipa vertikal pada pipa gas bawah laut dari FSRU Jawa Barat menuju ORF Muara Karang yang diakibatkan oleh arus dan gelombang laut. Untuk mendapatkan nilai maksimum *allowable stress pipeline* yang boleh digunakan pada jalur pipa tersebut, maka data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

1. Material pipa :
  - Jenis material penyusun pipa
  - Modulus elastisitas
  - Modulus geser
  - *Poisson ratio*
  - *Thermal expansion*
  - *Tensile strength*
  - *Yield strength*
2. Dimensi pipa
  - Diameter
  - Tebal
  - Luas penampang
3. Kondisi kerja :
  - Tekanan dan temperatur desain
4. Isometric pipa :
  - Gambar desain jalur pipa

#### **1.2.4. Pipeline Design Data**

Untuk data desain suatu jalur perpipaan sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti desain *flowrate*, jenis fluida, tekanan kerja maksimum dan minimum, temperatur, jalur yang dilalui pipa, spesifikasi yang digunakan, serta kondisi lingkungan dimana pipa yang akan dianalisa beroperasi.

### **1.2.5. Pemodelan dan Simulasi Distribusi Tegangan Pipa Vertikal**

Analisa tegangan yang dilakukan adalah analisa tegangan untuk *subsea pipeline* dengan menggunakan *code standard* DNV OS F101. Dari analisa tegangan pipa maka akan didapatkan nilai *maximum stress* pada pipa bawah laut vertikal. Simulasi distribusi tegangan sistem perpipaan dilakukan dengan menggunakan software ANSYS.

### **1.2.6. Analisa Pipa Vertikal**

Hasil analisis dari running Software ANSYS akan dianalisa, apakah terdapat *overstress* pada titik tertentu yang melebihi kekuatan material pipa tersebut. Serta dilakukan perhitungan fatigue life berdasarkan tegangan maksimum hasil simulasi.

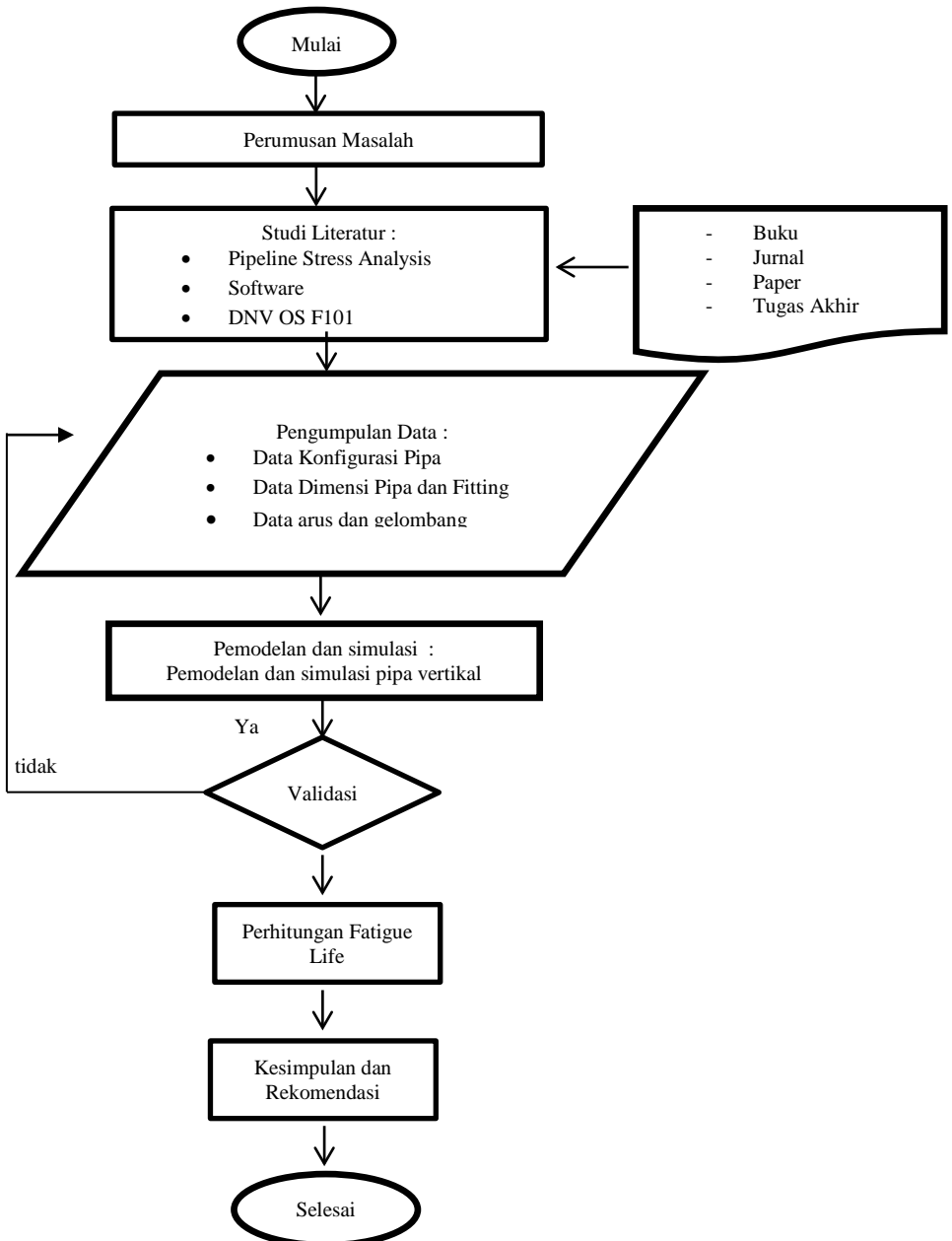
### **1.2.7. Kesimpulan Dan Saran**

Kesimpulan yang diharapkan pada tugas akhir ini adalah mampu menjawab permasalahan yang menjadi tujuan dari tujuan dari tugas akhir ini, yaitu menjamin bahwa jalur perpipaan beroperasi dengan aman. Saran ditulis berhaslkan data hasil pembahasan serta fakta yang ada, dan diberikan untuk perbaikan tugas akhir ini agar menjadi lebih baik.

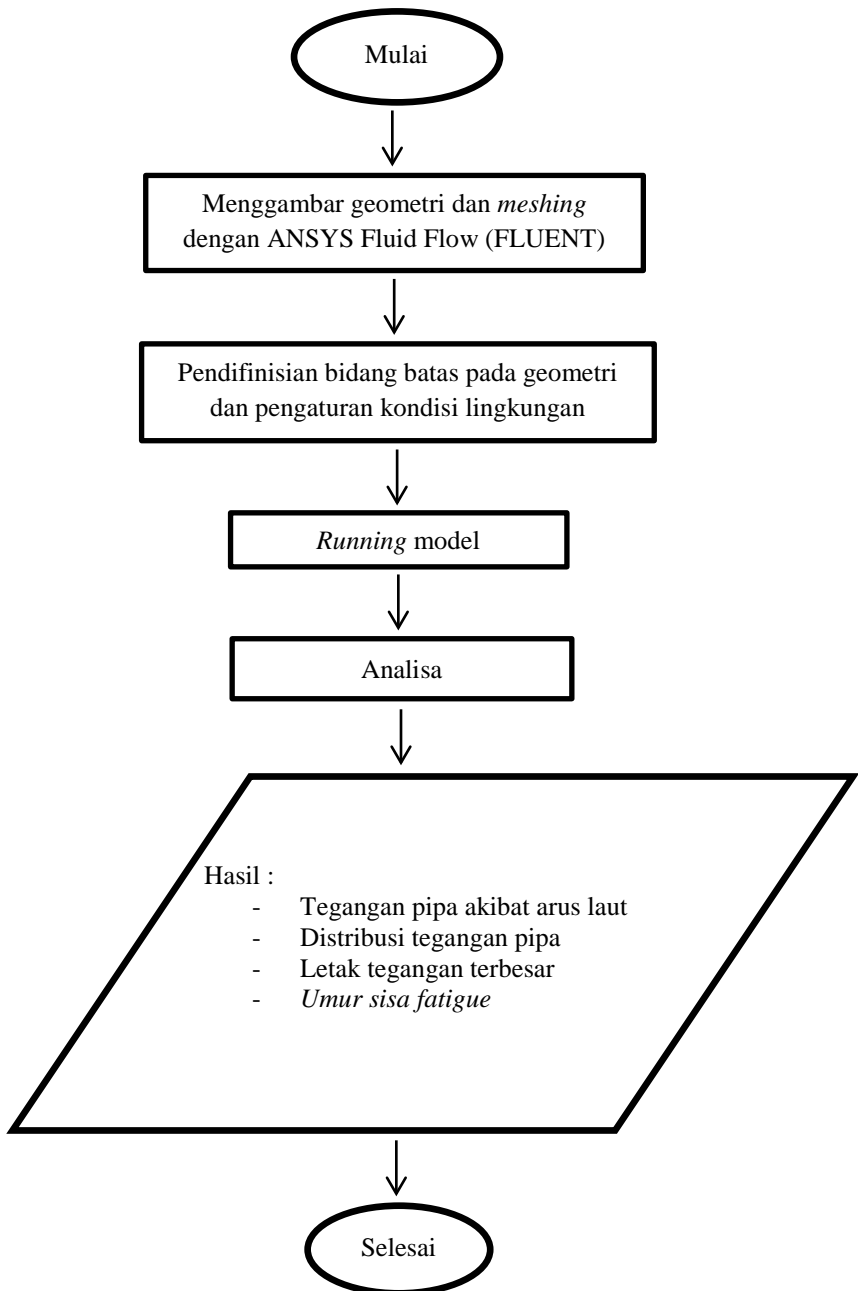
## **1.3. Flow Chart Skripsi**

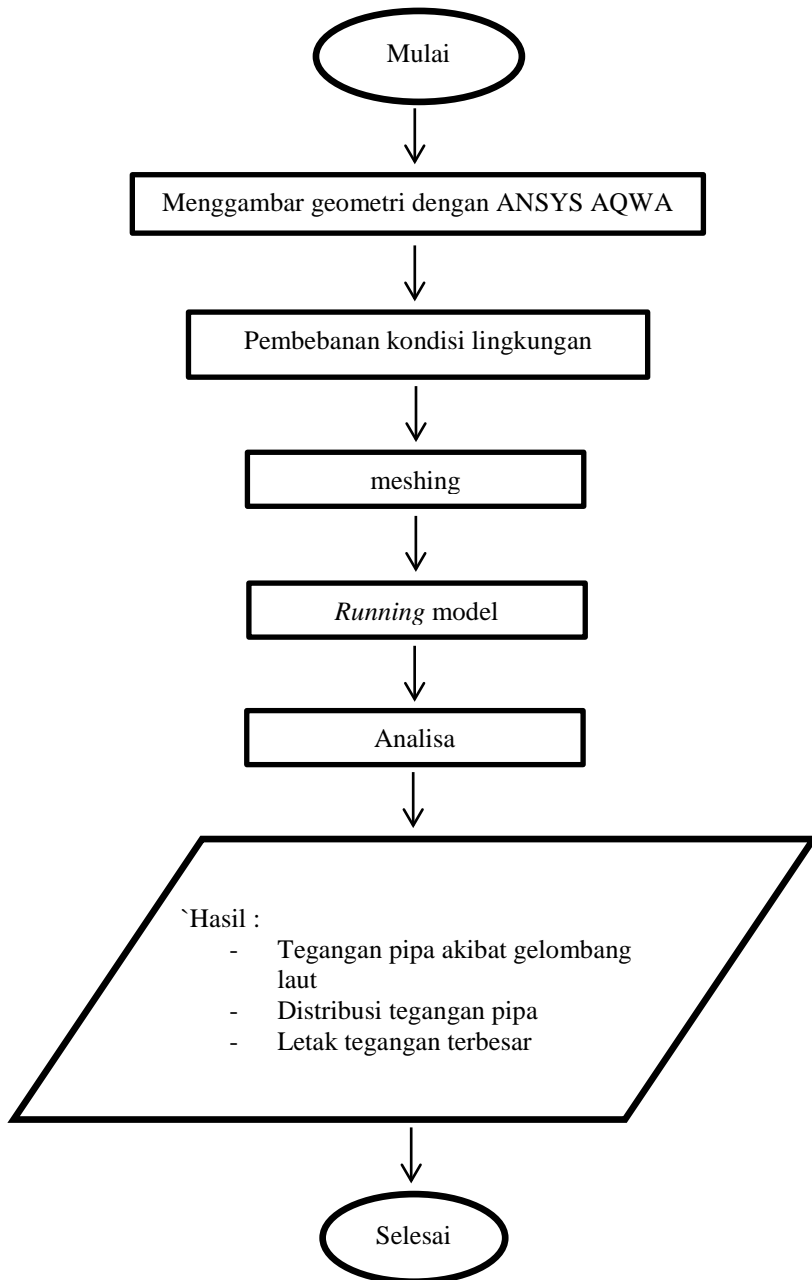
Metodologi merupakan uraian mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam suatu penelitian. Metodologi pada penulisan tugas akhir ini mencakup semua kegiatan yang dilakukan untuk memecahkan suatu masalah ataupun proses kegiatan analisa dan evaluasi terhadap permasalahan tugas akhir ini. Metodologi tugas akhir ini selanjutnya dapat dilihat melalui diagram alur pengerjaan tugas akhir berikut :

## DIAGRAM ALIR Pengerjaan Tugas Akhir





**DIAGRAM ALIR PEMODELAN DAN SIMULASI ARUS LAUT**

**DIAGRAM ALIR PEMODELAN DAN SIMULASI GELOMBANG LAUT**

Untuk mencapai tujuan dan mendapatkan hasil analisa yang sesuai standard maka harus sesuai dengan *code* yang digunakan yaitu DNV OS F101, adapun metodologi yang digunakan dapat dijelaskan berdasar uraian berikut.

### 1. Studi Literatur

Data yang digunakan dalam skripsi ini adalah data *subsea gas pipeline* milik PT. Nusantara Regas, dimana *subsea gas pipeline* tersebut memiliki jalur dari FSRU (*Floating Storage and Regasification Unit*) Jawa Barat – ORF (*Onshore Receiving Facility*) Muara Karang. Hanya data mengenai *subsea gas pipeline* yang vertical saja yang digunakan dalam skripsi ini.

### 2. Pemodelan dengan menggunakan ansys FLUENT

Pemodelan tegangan berdasar kondisi arus pada subsea gas pipeline yang vertikal dapat dilakukan dengan menggunakan ansys fluent, dengan melakukan langkah dan penginputan data dan beban seperti penjelasan berikut :

#### a. Data Pipa

Memasukkan data-data pipa yang ada seperti diameter pipa baik *inside* ataupun *outside* diameter, ketebalan pipa, temperature, tekanan, kode yang dipakai, dimana dalam skripsi ini *Code* yang dipakai adalah DNV OS F101, serta data-data penting yang lain, yang menunjang sistem perpipaan yang digunakan sebagai obyek skripsi. Adapun data pipa yang didapat dari PT. Nusantara Regas adalah sebagai berikut :

**Tabel 3. 1.** Data properties pipa tengah dan bawah

Properties	Unit	Value
<i>Outside Diameter</i>	mm	610
<i>Thickness (<math>t_{nom}</math>)</i>	mm	14.3 <sup>(1)</sup> and 17.5 <sup>(2)</sup>
<i>Length Minimum</i>	meter	12.15
<i>Material Grade</i>	-	C-Mn (DNV SAWL Grade 450 FUD)
<i>Specified Minimum Yield Strength (SMYS)</i>	MPa	450
<i>Specified Minimum Tension Strength (SMTS)</i>	MPa	535
NDT Level	-	NDT Level II (Ref. to Appendix D, DNV-OS-F101)
<i>Density</i>	Kg/m <sup>3</sup>	7850
<i>Internal Corrosion Allowance</i>	mm	1.00
<i>Young's Modulus</i>	Gpa	207
<i>Poisson's Ratio</i>	-	0.30
<i>Thermal Expansion Coefficient</i>	°C <sup>-1</sup>	11.7 x 10 <sup>-6</sup>
<i>Thermal Conductivity</i>	W/m°C	45
<i>Design temperature</i>	°C	Max 65°C, Min -29°C
<i>End Finish</i>	-	Bevel End (V-groove)

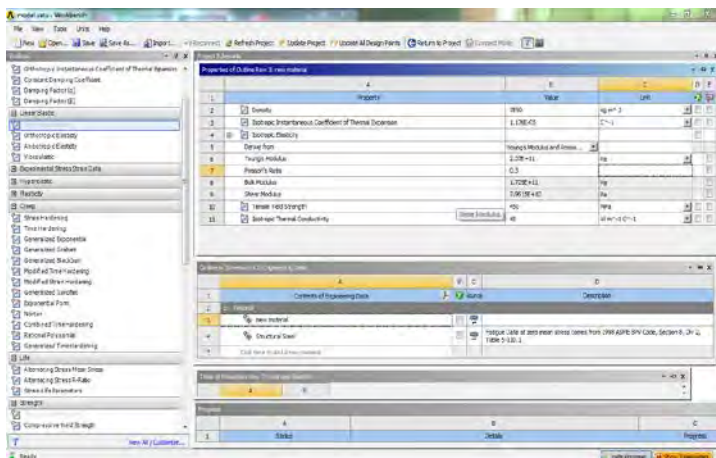
b. Pemodelan Pipa

*Subsea gas pipeline* vertikal milik PT. Nusantara Regas dapat dimodelkan dengan menggunakan software ansys. Di dalam software ansys terdapat beberapa *feature*, dan untuk memodelkan pipa vertikal bawah laut digunakan ansys workbench.

Adapun langkah-langkah dalam tahap pemodelan dengan menggunakan software ansys workbench adalah sebagai berikut :

1. Di dalam ansys workbench terdapat banyak *feature*. *Feature* yang dipilih untuk input data material pipa adalah *feature engineering data*. Hal-hal yang diperlukan dalam pemodelan dengan menggunakan *software* ansys workbench dalam *feature engineering data* adalah *properties* pipa. *Properties* tersebut adalah sebagai berikut sesuai dengan data yang didapat dari PT. Nusantara Regas :

- a. Massa jenis pipa
- b. modulus young
- c. *poisson's ratio*
- d. modulus bulk
- e. modulus geser
- f. *thermal expansion coefficient*
- g. *yield strength*

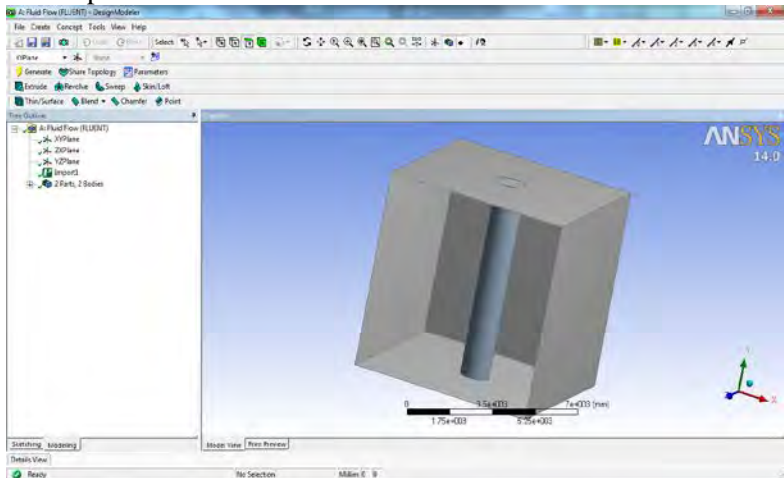


**Gambar 3. 1.** Properties pipa pada *feature engineering data*

2. Memodelkan geometri pipa dengan *fluid flow* (FLUENT). Di dalam *fluid flow* (FLUENT) terdapat beberapa pilihan untuk pemodelan, yaitu :

- Geometri
- *Mesh*
- *Setup*
- *Solution*
- *Results*

Untuk pemodelan pipa vertikal serta domainnya secara struktur maka menggunakan pilihan geometri, dimana pada pilihan ini tinggal memasukkan geometri pipa yang sebelumnya telah dibuat pada software solidworks.

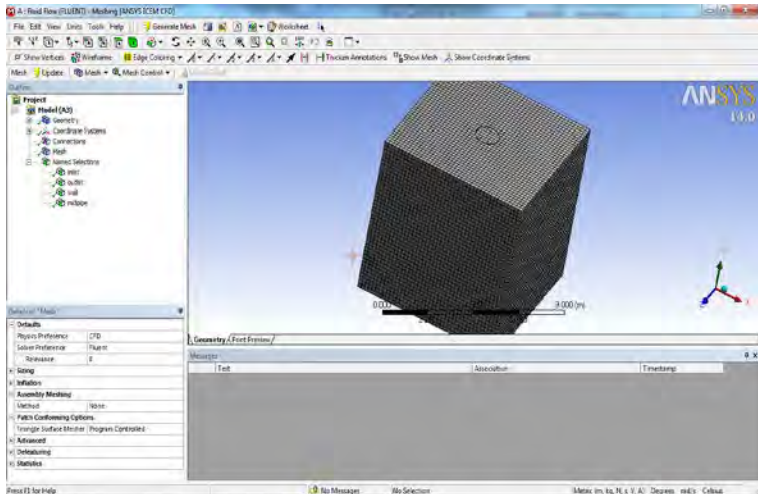


**Gambar 3. 2.** Pemodelan geometri

c. Meshing

*Meshing* dilakukan pada benda yang akan dianalisa agar hasil running model nantinya mendapat hasil yang mendekati aslinya. Pada proses meshing dilakukan pula pendefinisian geometri. Adapun pendefinisian tersebut meliputi :

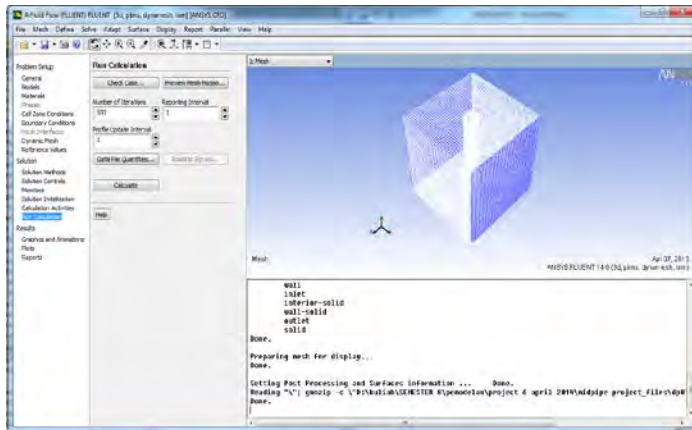
- Inlet
- Outlet
- Wall
- Pipe



**Gambar 3. 3. Meshing**

d. Pengaturan (*Setup*)

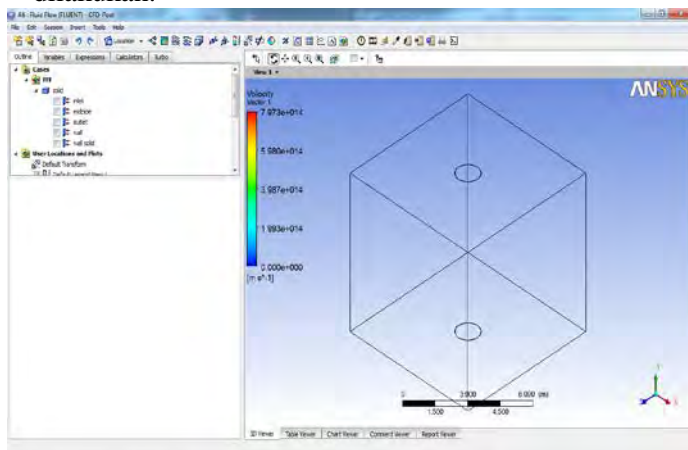
Setelah melakukan *meshing*, kita melakukan pengaturan parameter parameter apa yang dijadikan batasan dalam analisa pemodelan. Serta hasil apa yang mau kita ketahui pada analisa yang dilakukan, seperti tegangan, aliran fluida, dan lain lain.



**Gambar 3. 4. Set up**

**e. Results**

Tahap terakhir sebelum dilakukan running adalah mengatur parameter apa yang akan ditampilkan saat proses *running* dilakukan.



**Gambar 3. 5. Results**



f. Running model

Diawali dengan melakukan running desain struktur pipa yang telah dibuat dengan menganalisa material pada pipa dan beban yang telah dibuat. Jika terjadi *error* pada pemodelan maka dilakukan pemodelan ulang, dan melakukan tinjau ulang pada data-data masukkan. Dalam pemodelan ini juga dapat diketahui mengenai distribusi tegangan pipa pada *subsea gas pipeline* vertikal yang sedang dianalisa. Running model dilakukan pada ansys aqwa

g. Analisa hasil running model

Setelah dilakukan running model maka dilakukan analisa dari hasil running tersebut. Yang dianalisa pada skripsi ini adalah distribusi tegangan pada pipa bawah laut vertikal yang menjadi obyek kajian. Dari distribusi tersebut dapat diketahui letak tegangan terbesar pada pipa bawah laut tersebut. Akibat dikenai beban yang berulang-ulang maka suatu pipa akan mengalami *fatigue*, dan dari hal tersebut maka dapat diketahui *fatigue life* dari pipa bawah laut vertikal tersebut.

### 3. Pemodelan dengan menggunakan ansys aqwa

Pemodelan tegangan berdasar kondisi gelombang pada subsea gas pipeline yang vertikal dapat dilakukan dengan menggunakan ansys aqwa, dengan melakukan langkah dan penginputan data dan beban seperti penjelasan berikut :

a. Data Pipa

Memasukkan data-data pipa yang ada seperti diameter pipa baik *inside* ataupun *outside* diameter, ketebalan pipa, temperature, tekanan, kode yang dipakai, dimana dalam skripsi ini *Code* yang dipakai adalah DNV OS F101, serta data-data penting yang lain, yang menunjang sistem perpipaan yang digunakan sebagai obyek skripsi. Adapun data pipa yang didapat dari PT. Nusantara Regas adalah sebagai berikut :

**Tabel 3. 2.** Data properties pipa atas

Properties	Unit	Value
<i>Outside Diameter</i>	mm	610
<i>Thickness (<math>t_{nom}</math>)</i>	mm	14.3 <sup>(1)</sup> and 17.5 <sup>(2)</sup>
<i>Length Minimum</i>	meter	12.15
<i>Material Grade</i>	-	C-Mn (DNV SAWL Grade 450 FUD)
<i>Specified Minimum Yield Strength (SMYS)</i>	MPa	450
<i>Specified Minimum Tension Strength (SMTS)</i>	MPa	535
NDT Level	-	NDT Level II (Ref. to Appendix D, DNV-OS-F101)
<i>Density</i>	Kg/m <sup>3</sup>	7850
<i>Internal Corrosion Allowance</i>	mm	1.00
<i>Young's Modulus</i>	Gpa	207
<i>Poisson's Ratio</i>	-	0.30
<i>Thermal Expansion Coefficient</i>	°C <sup>-1</sup>	11.7 x 10 <sup>-6</sup>
<i>Thermal Conductivity</i>	W/m°C	45
<i>Design temperature</i>	°C	Max 65°C, Min - 29°C
<i>End Finish</i>	-	Bevel End (V-groove)

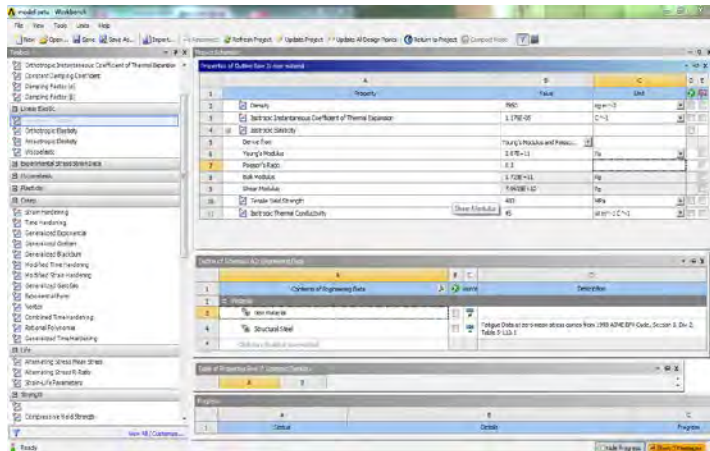
b. Pemodelan Pipa

*Subsea gas pipeline* vertikal milik PT. Nusantara Regas dapat dimodelkan dengan menggunakan software ansys. Di

dalam software ansys terdapat beberapa *feature*, dan untuk memodelkan pipa vertikal bawah laut digunakan ansys workbench.

Adapun langkah-langkah dalam tahap pemodelan dengan menggunakan software ansys workbench adalah sebagai berikut :

1. Di dalam ansys workbench terdapat banyak *feature*. *Feature* yang dipilih untuk input data material pipa adalah *feature engineering data*. Hal-hal yang diperlukan dalam pemodelan dengan menggunakan software ansys workbench dalam *feature engineering data* adalah *properties* pipa. *Properties* tersebut adalah sebagai berikut sesuai dengan data yang didapat dari PT. Nusantara Regas :
  - h. Massa jenis pipa
  - i. modulus young
  - j. *poisson's ratio*
  - k. modulus bulk
  - l. modulus geser
  - m. *thermal expansion coefficient*
  - n. *yield strength*



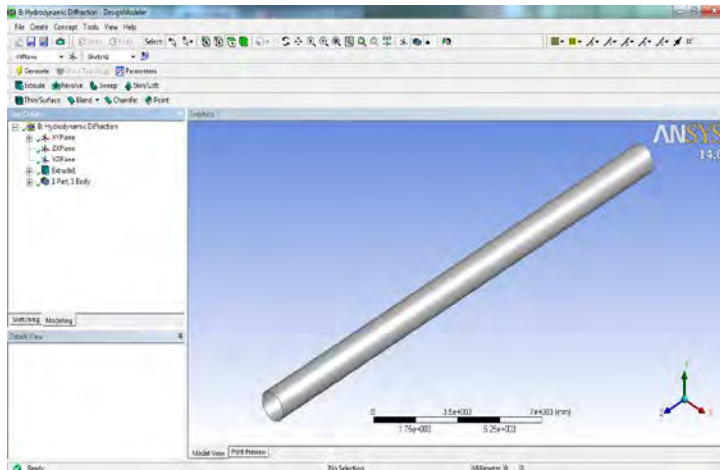
**Gambar 3. 6.** *Properties pipa pada feature engineering data*

2. Memodelkan geometri pipa dengan hydrodynamic diffraction. Didalam hydrodynamic diffraction terdapat beberapa pilihan untuk pemodelan, yaitu :

- Geometri
- Model
- *Setup*
- *Solution*
- *Results*
- Parameter

Untuk pemodelan pipa vertikal secara struktur maka menggunakan pilihan geometri. Adapun data-data yang diperlukan dalam pembuatan geometri ini adalah sebagai berikut :

- Diameter luar pipa
- Diameter dalam pipa
- Panjang pipa

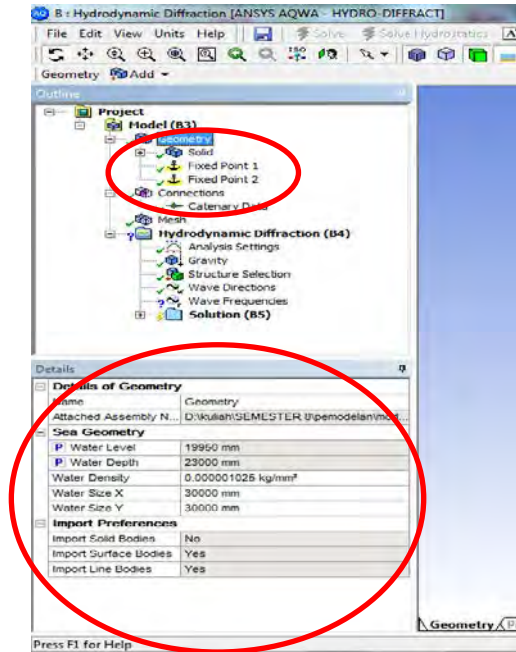


**Gambar 3. 7.** Pemodelan pipa dengan menggunakan “geometry”

### c. Pembebanan

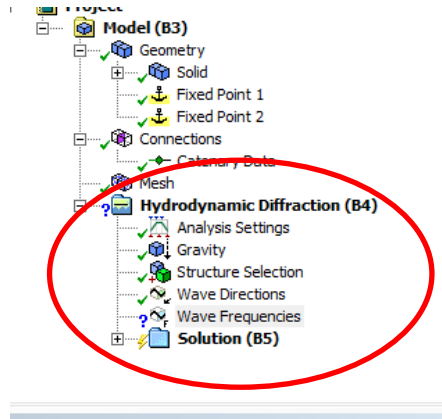
Memasukkan beban-beban yang digunakan dalam simulasi analisa tegangan. Pembebanan dilakukan pada *feature* “model” yang ada pada *hydrodynamic diffraction*. Pembebanan yang dilakukan lebih tertuju pada kondisi lingkungan perairan, yaitu perairan Jakarta. Hal-hal yang perlu dimodelkan dalam pembebanan ini adalah :

- *Water level* letak benda
- Kedalaman perairan
- Massa jenis air
- Batasan luasan perairan yang ditinjau dari sumbu x
- Batasan luasan perairan yang ditinjau dari sumbu y
- Menentukan letak *fixed point* pada kedua ujung pipa



**Gambar 3. 8.** Pembebanan ditinjau kondisi perairan

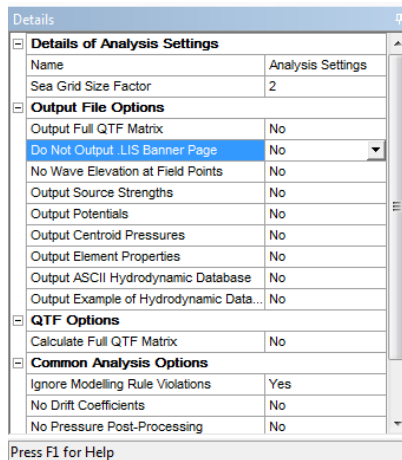
Pembebanan selanjutnya adalah pemodelan kondisi gelombang. Untuk pengaturan kondisi gelombang sesuai data yang ada maka dapat dilakukan pada pilihan *hydrodynamic diffraction* pada *feature* model.



**Gambar 3. 9.** *Hydrodynamic diffraction*

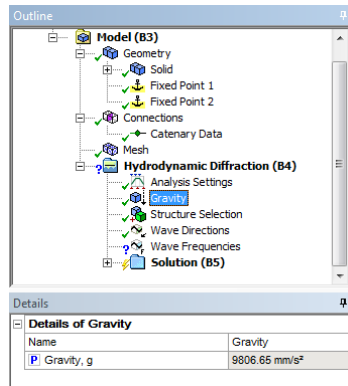
Adapun Hal-hal yang dapat diatur dalam pembuatan kondisi gelombang yang terdapat pada pilihan *hydrodynamic diffraction* adalah :

- *Analysis settings*, disini kita memilih analisis mana yang nantinya akan dimunculkan ataupun tidak



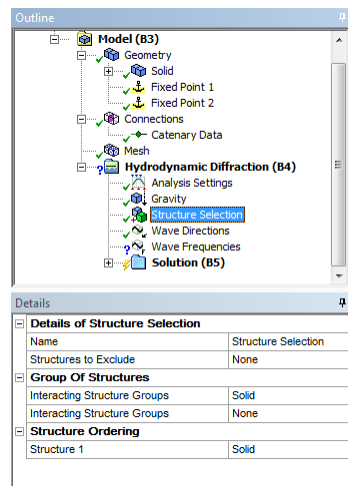
**Gambar 3. 10.** *Analysis settings*

- *Gravity*, disini kita mengatur kecepatan gravitasi



**Gambar 3. 11.** *Detail of gravity*

- *Structure selection*, disini kita memilih struktur mana yang akan dianalisa



**Gambar 3. 12.** *Structure selection*



- *Wave direction*, dalam pilihan ini kita mengatur apakah arah gelombang berasal dari satu arah saja atau dari berbagai arah. Jika memilih gelombang berasal dari segala arah hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :
  1. *wave range*.
  2. *interval*.
  3. jumlah arah.

Details	
<b>Details of Wave Directions</b>	
Name	Wave Directions
Type	Range of Direction...
<b>Required Wave Input</b>	
Wave Range	-180° to 180° (-PI to PI)
Interval	45 °
Number of Intermediate Directions	7
<b>Optional Wave Directions A</b>	
Additional Range	None
<b>Optional Wave Directions B</b>	
Additional Range	None
<b>Optional Wave Directions C</b>	
Additional Range	None
<b>Optional Wave Directions D</b>	
Additional Range	None

**Gambar 3. 13.** Detail gelombang *multi direction*

Jika memilih gelombang berasal dari satu arah saja, maka hal yang perlu diperhatikan adalah :

1. arah gelombang
2. kecepatan gelombang

Details	
<b>Details of Wave Directions</b>	
Name	Wave Directions
Type	Single Direction, Forward spe...
Forward Speed	0 mm/s
<input type="checkbox"/> Wave Direction	0 °

**Gambar 3. 14.** Detail gelombang *single direction*

- *wave frequencies*, hal-hal yang diatur dalam pilihan ini adalah sebagai berikut :
  1. frekuensi terendah
  2. frekuensi tertinggi
  3. periode terpanjang
  4. periode terpendek
  5. interval periode

Details	
[-] <b>Details of Wave Frequencies</b>	
Name	Wave Frequencies
[-] <b>Frequency / Period definition</b>	
Range	Manual Definition
Definition Type	Range
Lowest Frequency	0.005 Hz
Longest Period	201.962 s
Highest Frequency	0.228 Hz
Shortest Period	4.384 s
Interval Type	Period
Interval Period	1.579 s
Number of Intermediate Values	18
[-] <b>Additional Frequencies A</b>	
Additional Range	None
[-] <b>Additional Frequencies B</b>	
Additional Range	None
[-] <b>Additional Frequencies C</b>	
Additional Range	None
[-] <b>Additional Frequencies D</b>	

**Gambar 3. 15.** *Detail of wave frequencies*

hal-hal yang perlu dimodelkan untuk pembebanan yang ditinjau dari kondisi arus perairan adalah :


- variasi arus secara horizontal
- variasi arus secara vertikal
- kecepatan arus
- arah arus



#### *d. Meshing*

*Meshing* dilakukan pada benda yang akan dianalisa agar hasil running model nantinya mendapat hasil yang mendekati

aslinya. Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan atau dilakukan pengaturan dalam melakukan meshing suatu struktur adalah sebagai berikut :

1. *Defeaturing tolerance*
2. *Maksimum element size*
3. *Maximum allowed frequency*

Details 

 <b>Details of Mesh</b>	
Name	Mesh
Defeaturing Tolerance	50 mm
Max Element Size	100 mm
Max Allowed Frequency	1.613 Hz
Meshing Type	Program Controlled
 <b>Generated Mesh Information</b>	
Number of Nodes	46720
Number of Elements	46720
Number of Nodes (Diffracting Bodies)	0
Number of Elements (Diffracting Bodies)	0

**Gambar 3. 16.** Detail *meshing*

#### *e. Running model*

Diawali dengan melakukan running desain struktur pipa yang telah dibuat dengan menganalisa material pada pipa dan beban yang telah dibuat. Jika terjadi *error* pada pemodelan maka dilakukan pemodelan ulang, dan melakukan tinjau ulang pada data-data masukkan. Dalam pemodelan ini juga dapat diketahui mengenai distribusi tegangan pipa pada *subsea gas pipeline* vertikal yang sedang dianalisa. Running model dilakukan pada ansys aqwa

f. Analisa hasil *running model*

Setelah dilakukan *running model* maka dilakukan analisa dari hasil *running* tersebut. Yang dianalisa pada skripsi ini adalah distribusi tegangan pada pipa bawah laut vertikal yang menjadi obyek kajian. Dari distribusi tersebut dapat diketahui letak tegangan terbesar pada pipa bawah laut tersebut.

**4. Perhitungan *Fatigue Life***

Setelah diketahui tegangan terbesar yang terjadi pada pipa maka selanjutnya yang dilakukan adalah menghitung *fatigue life* dari pipa tersebut. Perhitungan *fatigue life* didasarkan pada DNV RP C 203.

**5. Kesimpulan dan Saran**

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan maka akan ditarik beberapa kesimpulan dan hasil analisa tersebut dan juga pemberian saran bagi yang ingin melanjutkan tugas akhir ini.

## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **a. Umum**

Pada bab ini akan dijelaskan langkah-langkah pembuatan obyek dengan yang akan dilanjutkan dengan proses simulasi pada obyek dengan menggunakan bantuan software CFD (Computational Fluid Dynamic). Perancangan model didasarkan pada penjelasan di dasar teori, sehingga terdapat beberapa tahapan sebelum simulasi.

#### **b. Penentuan Parameter**

Terdapat dua pemodelan dalam skripsi ini yaitu pemodelan untuk pembebanan arus dan pemodelan untuk pembebanan gelombang. Oleh karena itu terdapat beberapa perbedaan dalam parameter di setiap pemodelan. Adapun parameter awal dan secara umum digunakan untuk kedua pemodelan tersebut tersebut antara lain :

- Panjang total pipa vertical : 21780 mm
- Radius elbow 90° : 3050 mm
- Diameter luar : 610 mm
- Kedalaman laut : 23000 mm

#### **1. Pemodelan pembebanan Arus**

Untuk pemodelan pembebanan arus pipa yang dianalisa berada pada kedalaman 0 – 15400 mm. adapun parameter khusus untuk pemodelan ini adalah :

- Diameter dalam : 17.5 mm
- Radius elbow 90° : 3050 mm

Dalam pemodelan ini pipa dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian tengah, dan bagian bawah. Dimana pipa bagian tengah berbentuk pipa lurus tanpa terdapat fitting, dan pipa bagian bawah terdiri dari pipa lurus dan elbow 90°.

## 2. Pemodelan gelombang

Untuk pemodelan pembebanan gelombang pipa yang dianalisa berada pada kedalaman 15.400 – 23000 mm. terdapat bagian pipa yang muncul dari permukaan air sepanjang 1830 mm

- Diameter dalam : 17.5 mm

Adapun parameter lain yang digunakan sebagai data penunjang antara lain :

- Kecepatan arus
  - Pada kedalaman 0 – 7700 mm = 0.75 m/s
  - Pada kedalaman 7700 – 15400 mm = 0.48 m/s
- Periode gelombang = 6.4 s

Parameter kecepatan arus dan periode gelombang didapat dari data lingkungan perairan Jakarta, dan untuk pemodelan diambil kecepatan arus dan periode gelombang terbesar di setiap titik yang dianalisa.

### c. Proses Analisa Simulasi Model

Setelah dilakukan penentuan parameter, maka parameter-parameter tersebut dijadikan sebagai dasar dalam penginputan data pada proses simulasi dengan software.

#### i. Penggambaran *Geometry*

Tahapan awal dalam semua simulasi baik untuk pembebanan arus sataupun pembebanan gelombang adalah pembuatan desain *geometry* dari suatu obyek yang dianalisa, dimana dalam skripsi ini merupakan pipa gas bawah laut sesuai dengan parameter – parameter yang menjadi batasan.

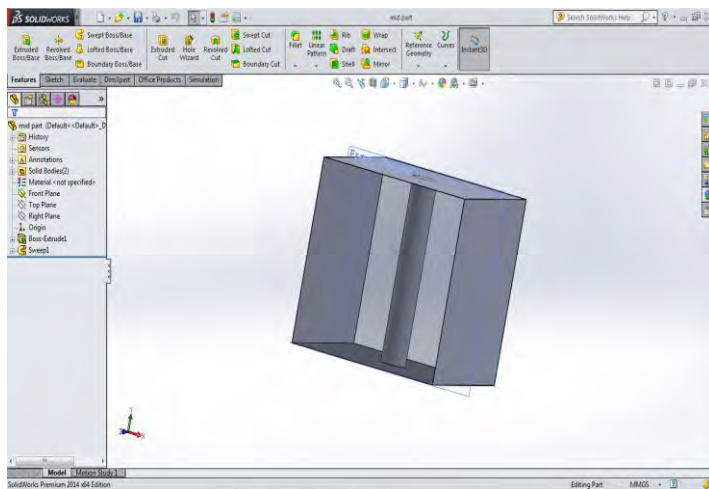
#### 1. Penggambaran *Geometry* Pembebanan Arus

Proses pembuatan desain *geometry* pada proses pembebanan arus dilakukan dengan menggunakan software Solidworks. *Software* solidworks hanya digunakan untuk

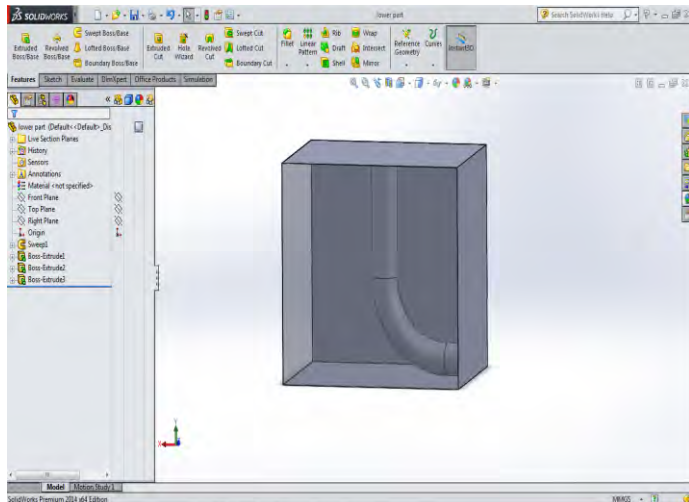
penggambaran geometry benda yang akan dianalisa. Untuk proses selanjutnya akan diproses dengan menggunakan *software* ANSYS FLUENT.

Proses pembuatan *geometry* harus dipastikan bagus, sehingga ketika desain *geometry* di *import* untuk dilakukan proses *meshing* pada *software* ANSYS dapat berjalan dengan baik tanpa ada kesalahan *geometry* benda.

Dalam proses pembuatan *geometry* pembebanan arus ini dibuat juga bentuk kubus yang menyelimuti pipa sebagai *boundary condition* nya. Penggambaran *geometry* dengan menggunakan *software* Solidworks ini digunakan untuk pemodelan pembebanan arus pada kedalaman 0 – 7700 mm dan 7700 – 15400 mm.



**Gambar 4. 1.** Geometry pipa bagian tengah dan *boundary* nya



**Gambar 4. 2.** Geometry pipa bagian bawah dan *boundary* nya

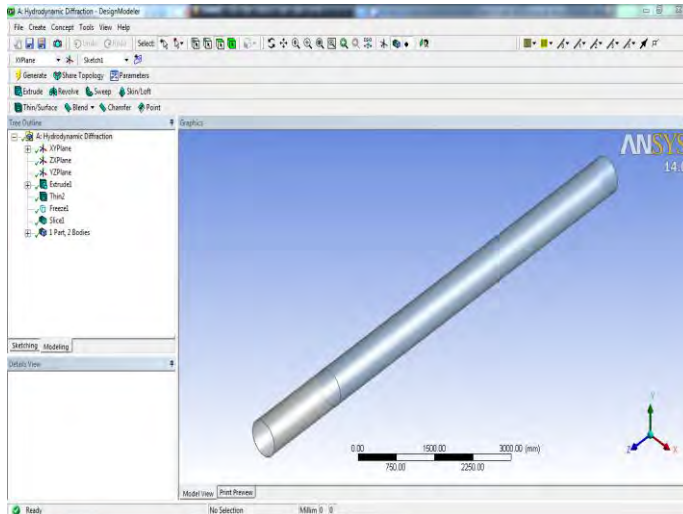
## 2. Penggambaran Geometry Pembebanan Gelombang

Proses pembuatan desain geometry pada proses pembebanan gelombang dilakukan dengan menggunakan *software* Ansys *Hydrodynamic Diffraction*. Untuk proses selanjutnya akan diproses dengan menggunakan *software* Ansys Aqwa.

Tidak ada proses *import* dalam proses pemodelan ini, karena proses pembuatan *geometry* secara langsung dilakukan di *software* ANSYS. Seperti pada proses pembuatan *geometry* sebelumnya, harus dipastikan pula bahwa proses pembuatan *geometry* ini harus dipastikan bagus agar saat proses *meshing* berjalan dengan bagus pula.

Penggambaran *geometry* ini dilakukan untuk pemodelan pembebanan gelombang pada potongan pipa bagian atas, dan terdapat pula bagian pipa yang muncul dari permukaan air.



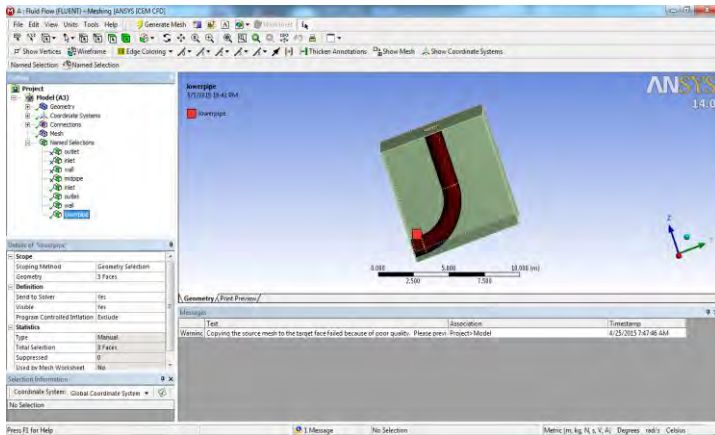


**Gambar 4. 3. Geometry pipa bagian atas**

ii. **Proses *Meshing Geometry***

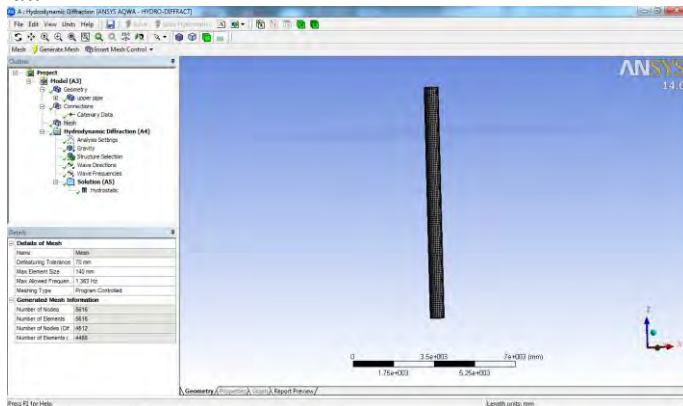
Sebelum masuk ke dalam proses set up pada CFD ANSYS, proses *pre-processing* harus dipastikan dalam kondisi bagus, untuk itu dilakukan proses *meshing*. Proses *meshing* merupakan proses dimana geometry pipa diberi grid. Semakin detail dan rapat kumpulan grid maka analisa pada silinder hidrolik akan semakin akurat. Apabila *meshing* yang dilakukan kurang sempurna maka akan terjadi kesalahan saat proses solver.

Proses *meshing* untuk pemodelan pembebanan arus dilakukan pada ANSYS FLUENT. Dalam proses *meshing* juga dilakukan penentuan *body* simulasi yang akan dijadikan domain untuk pipa yang akan dianalisa. Dalam domain tersebut ditentukan pula mana *inlet*, *outlet*, dan *wall* nya. Serta penentuan obyek yang akan dianalisa. Pada proses *meshing* dan pendefinisian *boundary* dilakukan untuk semua obyek yang akan dianalisa



**Gambar 4. 4.** Meshing obyek dan pendefinisian komponen pada Ansys FLUENT

Proses *meshing* untuk pemodelan pembebanan gelombang dilakukan pada Ansys Hydrodynamic diffraction. Berbeda dari pemodelan pembebanan arus, pemodelan ini tidak menentukan *boundary* nya. Semakin detail dan rapat kumpulan grid maka analisa pada potongan pipa bagian atas akan semakin akurat.

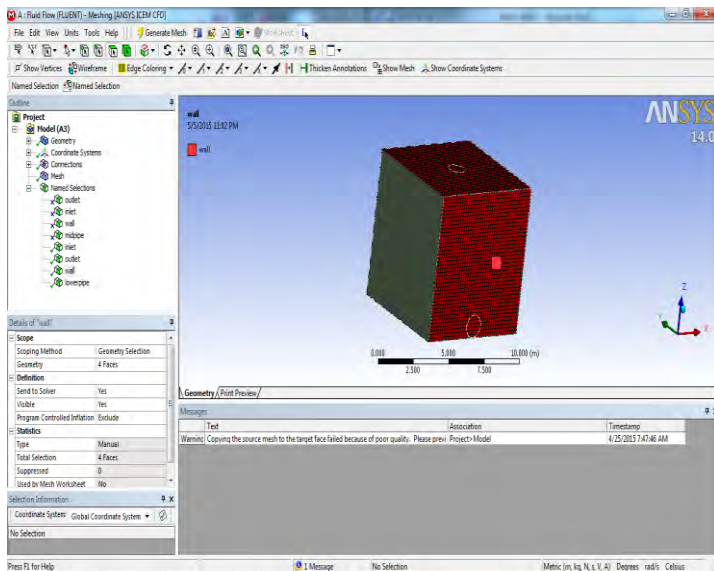


**Gambar 4. 5.** Meshing obyek dan pendefinisian komponen pada Ansys Hydrodynamic diffraction

### iii. **Boundary**

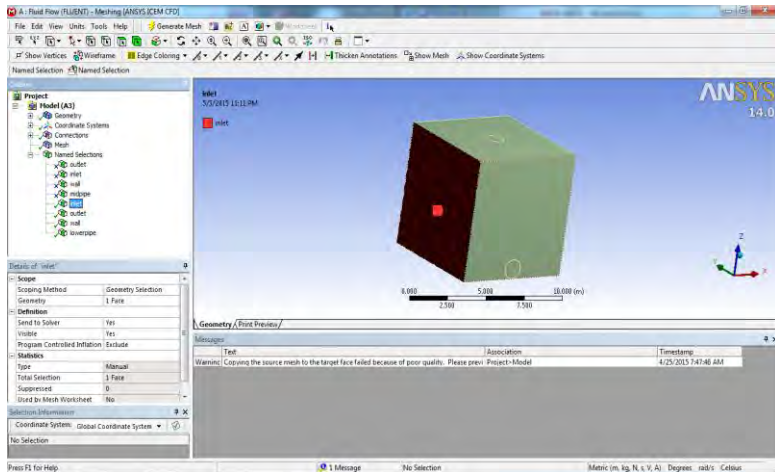
*Boundary condition* merupakan batasan kondisi yang didefinisikan sebagai karakteristik bagian dalam obyek yang dianalisa.

Dalam pemodelan pembebanan arus *boundary condition* nya adalah *wall*, *inlet*, *outlet*, dan *pipe*. *Wall* pada simulasi pembebanan arus diletakkan pada bagian kubus yang mengelilingi pipa sebagai obyek yang dianalisa.



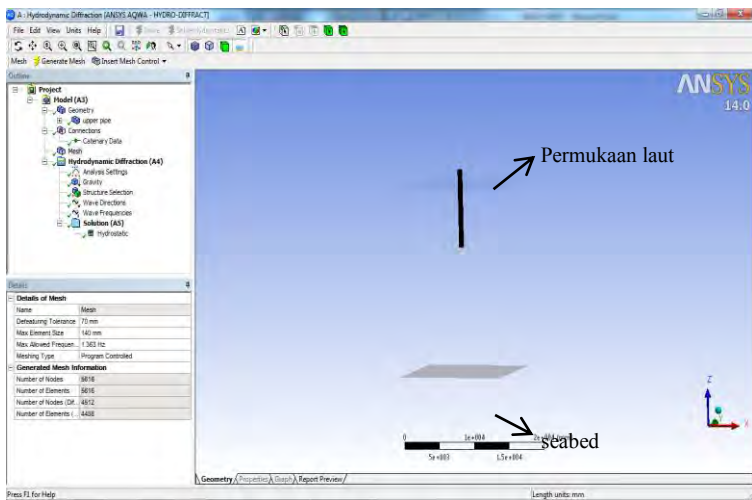
**Gambar 4. 6. Wall boundary**

*Inlet* dan *outlet* diletakkan pada sisi yang berada pada samping-samping pipa. *Inlet* merupakan tempat air laut masuk menabrak ke pipa. *Outlet* merupakan bagian keluaran untuk air laut setelah melakukan kerja.



**Gambar 4. 7. Inlet boundary**

Dalam pemodelan pembebanan gelombang, *boundary condition* nya adalah permukaan laut dan *seabed*.



**Gambar 4. 8. Boundary pemodelan pembebanan gelombang**

iv. ***Solver***

Pada tahap *solver* merupakan tahap dimana *geometry* yang sudah melalui proses *meshing* mulai diberi input data dan pendefinisian.

d. ***Tahap Pemberian Input***

Tahap pemberian *input* nilai adalah tahapan yang paling menentukan dalam melakukan suatu simulasi. Oleh karena itu setiap detail dari input harus dideinisikan secara jelas agar hasil atau *output* menjadi valid.

e. ***Input Nilai Pembebanan Arus Pipa Bawah***

*Input* nilai pada tahap ini dilakukan berdasarkan data lingkungan perairan Jakarta yang berasal dari metocean *report* perairan Jakarta. Sesuai dengan penjelasan pada bagian *geometry* dan *meshing* sebelumnya, tahapan ini memiliki *geometry* yang sudah disesuaikan sesuai pemodelan pembebanan arus pada pipa bagian bawah. Adapun nilai inputan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

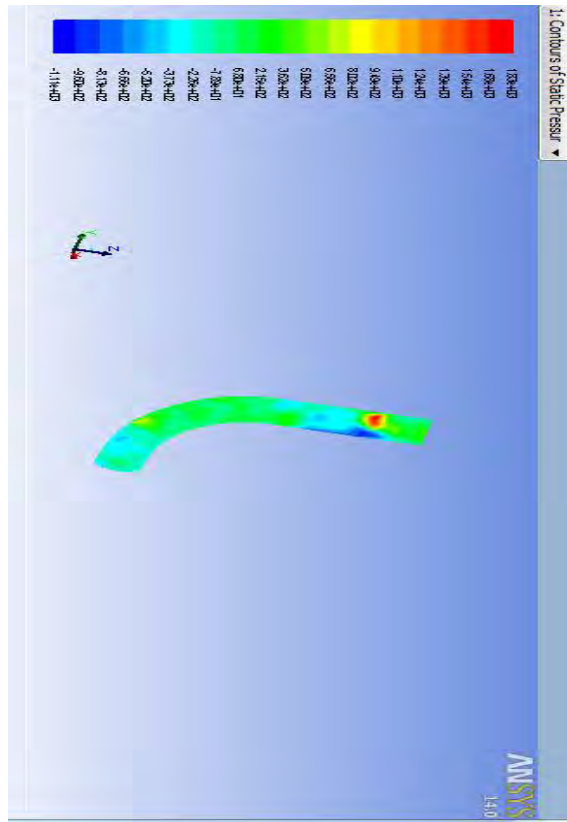
**Tabel 4. 1.** Nilai input pada pembebanan arus pipa bagian bawah

Nilai <i>Input</i> Data		
<i>Inlet</i>		
<i>Velocity</i>	0.75	m/s
<i>Initial Pressure</i>	0	Pa
<i>Outlet</i>		
<i>Initial Pressure</i>	0	Pa
<i>Wall</i>		
<i>material</i>	<i>Water liquid</i>	
<i>density</i>	1025	Kg/m <sup>3</sup>
<i>viskositas</i>	0.0017	Kg/m-s
<i>type</i>	<i>solid</i>	
<i>Wall motion</i>	<i>Stationary wall</i>	
<i>Shear condition</i>	<i>No slip</i>	
<i>Cell Zone Conditions</i>		

<i>type</i>	<i>solid</i>	
<b><i>Solution Initialization</i></b>		
<i>Type</i>	<i>Strandard initialization</i>	
<i>Compute from</i>	<i>Inlet</i>	
<i>Reference frame</i>	<i>Relative to cell zone</i>	

i. **Hasil Simulasi**

Dari hasil simulasi diketahui beberapa kontur tekanan dan profil kecepatan yang menunjukkan kontur tegangan yang paling besar berada pada garis air 6020 mm dengan tegangan sebesar 1830.629 Pa. Bagian pipa yang mengalami tegangan terbesar tersebut adalah bagian yang langsung bertabrakan dengan arus laut sebesar 0.75 m/s. jika dilihat dari gambar maka letak tegangan tersebut berada di bagian atas potongan pipa bagian bawah, dan semakin ke bawah dari potongan semakin kecil pula arus laut, maka distribusi tegangannya juga semakin kecil. Tegangan terkecil yang terjadi pada potongan bagian bawah tersebut adalah sebesar 680 Pa.



**Gambar 4. 9.** Distribusi tegangan pada pipa bagian bawah

**f. *Input Nilai Pembebanan Arus Pipa Tengah***

Tidak berbeda jauh dengan input nilai pembebanan arus pipa bagian bawah, *Input* nilai pada tahap ini dilakukan berdasarkan data lingkungan perairan Jakarta yang berasal dari *metocean report* perairan Jakarta. Sesuai dengan penjelasan pada bagian *geometry* dan *meshing* sebelumnya, tahapan ini memiliki *geometry* yang sudah disesuaikan sesuai pemodelan pembebanan arus pada pipa bagian tengah. Adapun nilai inputan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

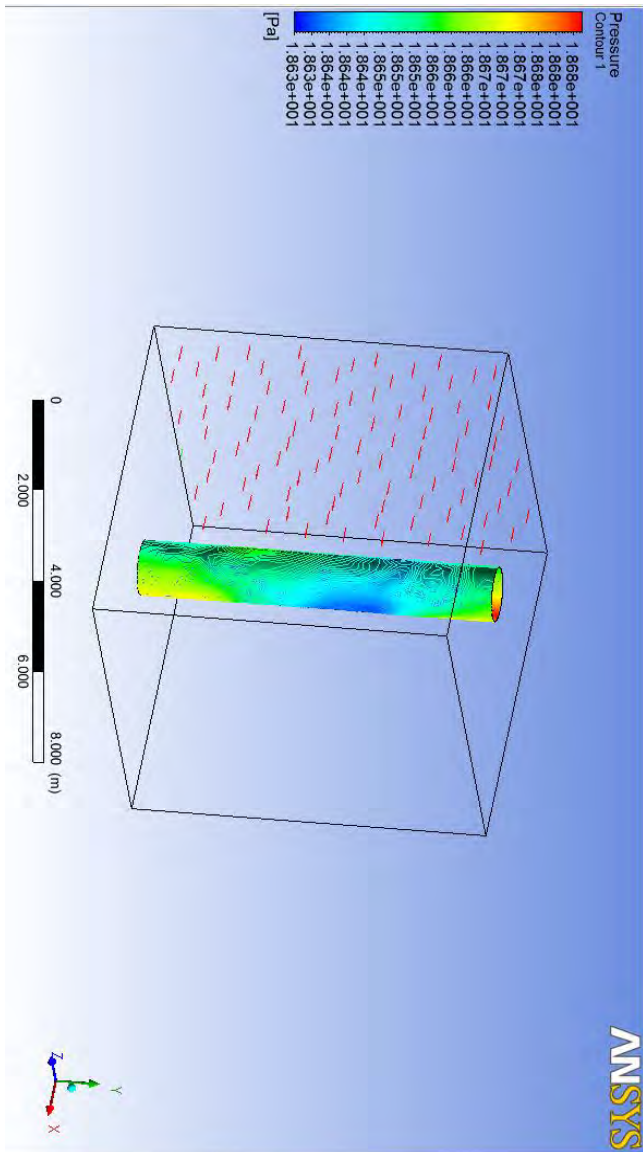
**Tabel 4. 2.** Nilai input pada pembebanan arus pipa bagian tengah

Nilai <i>Input Data</i>		
<i>Inlet</i>		
<i>Velocity</i>	0.48	m/s
<i>Initial Pressure</i>	0	Pa
<i>Outlet</i>		
<i>Initial Pressure</i>	0	Pa
<i>Wall</i>		
<i>material</i>	<i>Water liquid</i>	
<i>density</i>	1025	Kg/m <sup>3</sup>
<i>viskositas</i>	0.0017	Kg/m-s
<i>type</i>	<i>solid</i>	
<i>Wall motion</i>	<i>Stationary wall</i>	
<i>Shear condition</i>	<i>No slip</i>	
<i>Cell Zone Conditions</i>		
<i>type</i>	<i>solid</i>	
<i>Solution Initialization</i>		
<i>Type</i>	<i>Strandard initialization</i>	
<i>Compute from</i>	<i>Inlet</i>	
<i>Reference frame</i>	<i>Relative to cell zone</i>	

i. **Hasil Simulasi**

Dari hasil simulasi diketahui beberapa kontur tekanan dan profil kecepatan yang menunjukkan kontur tegangan yang paling besar berada pada garis air 15400 mm dengan tegangan sebesar 18.68415 Pa. bagian pipa yang mengalami tegangan terbesar tersebut adalah bagian yang langsung bertabrakan dengan arus laut sebesar 0.48 m/s. jika dilihat dari gambar maka bagian tersebut berada di bagian atas potongan pipa bagian atas, dan semakin ke bawah dari potongan tersebut kecepatan arus laut semakin kecil, maka distribusi tegangannya juga akan semakin kecil. Tegangan terkecil yang terjadi pada potongan bagian bawah tersebut adalah sebesar 18.63173 Pa.





**Gambar 4. 10.** Distribusi tegangan pada pipa bagian tengah

**g. Input Nilai Pembebanan gelombang Pipa Atas**

Nilai inputan untuk pembebanan gelombang pipa bagian atas sedikit berbeda dengan nilai inputan untuk pembebanan arus. Namun data yang digunakan tetaplah sama yaitu data perairan Jakarta yang berasal dari metocean *report* perairan Jakarta. Sesuai dengan penjelasan pada bagian *geometry* dan *meshing* sebelumnya, tahapan ini memiliki *geometry* yang sudah disesuaikan sesuai pemodelan pembebanan arus pada pipa bagian tengah. Adapun nilai inputan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

**Tabel 4. 3.** Nilai input pada pembebanan gelombang pipa bagian atas

Nilai Input Data		
Depth	23	m
Lowest Frequency	0.156	Hz
Longest Period	6.4	s
Highest Frequency	0.235	Hz
Shortest Periode	4.25	s
Interval Frequency	0.012	Hz
Wave range	-180° to 180°	
interval	45°	

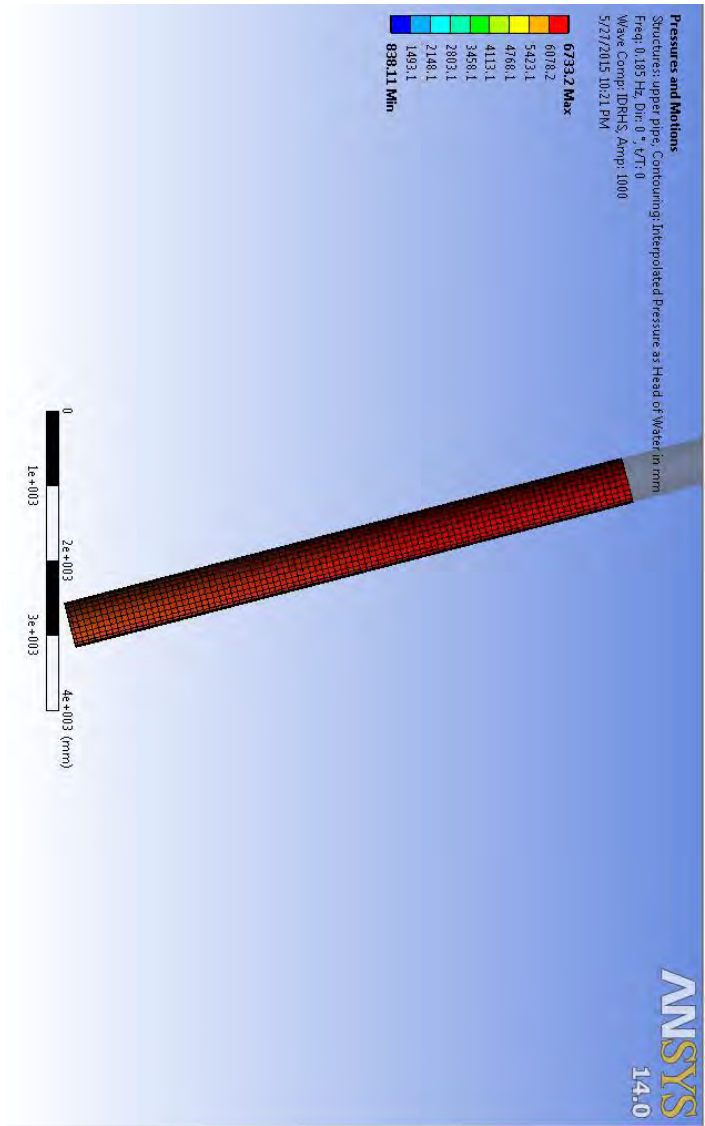
**i. Hasil Simulasi**

Inputan data tersebut merupakan inputan data pada ANSYS hydrodynamic diffraction, dimana pada ANSYS hydrodynamic diffraction akan didapat report mengenai hydrostatic nya. Data laporan dari hydrostatic itulah nantinya yang akan disimulasikan ke ANSYS AQWA untuk mengetahui distribusi tegangan yang dihasilkan dari beban berupa gelombang laut. Berikut ini merupakan hasil report hydrostatic dari pemodelan pipa bagian atas yang mendapat beban gelombang.

AQWA Hydrostatic Results					
Structure		upper pip			
Hydrostatic Stiffness		X:	Y:	Z:	
Centre of Gravity Position:		-1.2554e-4 mm	1.2674e-5 mm	7666.6699 mm	
Heave(Z):		Z	RX	RY	
Roll(RX):		0.1642433 N/mm	4.24e-8 N/°	1.5062e-8 N/°	
Pitch(RZ):		2.4294e-6 N.mm/mm	-252609.56 N.mm/°	4.7474e-5 N.mm/°	
		8.63e-7 N.mm/mm	4.7474e-5 N.mm/°	-252609.56 N.mm/°	
Hydrostatic Displacement Properties					
Actual Volumetric Displacement:		1.25271e8 mm³			
Equivalent Volumetric Displacement:		1.25271e8 mm³			
Centre of Buoyancy Position:		X: -1.2651e-4 mm	Y: 1.8663e-5 mm	Z: -3833.335 mm	
Out of Balance Forces/Weight:		FX: -6.7288e-5	FY: -1.6131e-4	FZ: 1.9389e-7	
Out of Balance Moments/Weight:		MX: 0.4218586 mm	MY: 0.1365034 mm	MZ: -5.0939e-5 mm	
Cut Water Plane Properties					
Cut Water Plane Area:		16339.667 mm²			
Centre of Floation:		X: -1.3079e-4 mm	Y: 2.7466e-5 mm		
Principal 2nd Moment of Area:		X: 7.3012e8 mm⁴	Y: 7.3012e8 mm⁴		
Angle Principal Axis makes with X					
Small Angle Stability Parameters					
C.O.G. to C.O.B.(BG):		11500.005 mm			
Metacentric Heights (GMX/BMY):		-11494.177 mm	-11494.177 mm		
COB to Metacentre (BMX/BMY):		5.8283319 mm	5.8283324 mm		
Restoring Moments/Degree Rotations (MX/MY):		-4408.8691 N.mm/°	-4408.8691 N.mm/°		

Gambar 4. 11. Hydrostatic report

Dan berikut ini merupakan gambar distribusi tekanan dari hasil simulasi pembebanan gelombang pada potongan pipa bagian atas.



**Gambar 4. 12.** Distribusi tegangan pada pipa bagian atas

Jika dilihat dari gambar tersebut, semakin ke bawah maka distribusi tegangannya semakin kecil. Terbaca dari hasil simulasi tersebut tegangan maksimal yang terjadi pada potongan pipa bagian atas tersebut adalah sebesar 6733.2 Pa yang terletak pada bagian atas pipa tersebut. Hal tersebut dikarenakan bagian tersebut adalah bagian yang berhubungan langsung dengan gelombang laut. Tegangan minimal dari bagian pipa tersebut adalah sebesar 838.11 Pa, dimana terletak pada bagian pipa yang paling bawah. Hal tersebut dapat terjadi karena bagian bawah tersebut tidak langsung berhubungan dengan gelombang laut, melainkan hanya arus saja.

#### ***h. Perhitungan Umur Kelelahan Pipa***

Dalam perhitungan sisa waktu operasi pipa, digunakan kurva S-N type B1.

untuk  $N > 10^6$ , maka  $m = 5.0$  dan  $\log a = 17.146$  (S-N curve B1). Stress range yang digunakan adalah sebesar 6.7332 MPa, maka :

$$\log N_i = \log a - m \log \Delta \sigma$$

$$\log N_i = 17.146 - 5.0 \times \log 6.7332$$

$$\log N_i = 17.146 - 5.0 \times 0.82822$$

$$\log N_i = 13.0049$$

$$N_i = 1.011346556 \times 10^{13}$$

Diketahui dari data lingkungan perairan di Jakarta, peluang kejadian gelombang dari arah  $45^\circ$  adalah sebesar 1800 kali. maka umur kelelahannya adalah sebagai berikut :

$$T = \frac{1}{\frac{P_i}{N_i T_i}}$$

$$T = \frac{1}{\frac{1800/8573300}{1.011346556 \times 10^{13} \times 6.4}}$$

$$T = 3.0829 \times 10^{17} \text{ sekon}$$

$$T = 9775722903 \text{ tahun}$$

Umur kelelahan (*fatigue life*) yang telah dihitung tersebut hanya berdasarkan tegangan yang dihasilkan oleh arus dan gelombang laut saja. Untuk mendapatkan umur kelelahan yang lebih valid maka beban dari internal dalam pipa harus disertakan pula dalam simulasi.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Setelah melakukan beberapa simulasi dan analisa, pada bab ini akan ditarik kesimpulan mengenai beberapa hal yang telah menjadi hasil dari simulasi pada bab sebelumnya.

#### ***1.1. Kesimpulan***

1. Pemodelan untuk pembebanan arus telah dilakukan dengan pendekatan Computational Fluid Dynamic (CFD), yaitu dengan menggunakan ANSYS FLUENT, dan pemodelan untuk pembebanan gelombang dapat dilakukan dengan pendekatan elemen hingga (FEM), yaitu dengan menggunakan ANSYS AQWA. Hasil-hasil simulasi yang telah dilakukan berdasarkan pembebanan arus dan gelombang adalah sebagai berikut :
  - a) Simulasi dengan periode gelombang sebesar 6.4 sekon yang dilakukan untuk pipa bagian atas pada garis air 15400 mm – 23000 mm menghasilkan tegangan maksimum sebesar 6733.2 Pa.
  - b) Simulasi dengan kecepatan arus sebesar 0.48 m/s yang dilakukan untuk pipa bagian tengah pada garis air 7700 mm – 15400 mm menghasilkan tegangan maksimum sebesar 18.68415 Pa yang berada pada garis air 15400 mm.
  - c) Simulasi dengan kecepatan arus sebesar 0.75 m/s yang dilakukan untuk pipa bagian bawah pada garis air 0 mm – 7700 mm menghasilkan tegangan maksimum sebesar 1830.629 Pa yang berada pada garis air 6020 mm.
2. Dari ketiga simulasi yang telah disebutkan, pembebanan gelombang memiliki dampak yang cukup signifikan yang

menghasilkan tegangan paling besar terhadap pipa daripada pembebanan arus.

3. Dari hitungan *fatigue life* yang didasarkan pada DNV RP C203, didapatkan hasil bahwa *fatigue life* yang berdasar pada pembebanan gelombang dan arus dengan nilai  $m$  sebesar 5.0 adalah sebesar 9775722903 tahun. Umur kelelahan (*fatigue life*) yang telah dihitung tersebut hanya berdasarkan tegangan yang dihasilkan oleh arus dan gelombang laut saja.

## **5.2. Saran**

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dalam proses simulasi maka proses meshing harus lebih detail dan bagus lagi
2. Data lingkungan berupa kecepatan arus dan gelombang terbaru akan sangat membantu dalam proses simulasi
3. Untuk mendapatkan *fatigue life* yang lebih detail lagi maka diperlukan simulasi yang juga melibatkan beban internal yang berasal dari fluida kerja di dalam pipa, dan juga simulasi VIV.



## DAFTAR PUSTAKA

- Bandriyana. B. 2005. Analisis Tegangan pada Bengkokan Pipa Dalam Sistem Pipipaan Fasilitas Nuklir dengan Metode Elemen Hingga. Batan.
- Baskoro Didiet Eka. 2006. Studi Evaluasi Analisa Tegangan Pipa (Pipeline Stres Analysis) pada jalur pipa gas menggunakan Software Caesar II. ITS, Surabaya.
- Suududin. 2011. *Pipeline Stress Analysis* pada *Onshore Design* Jalur Pipa Baru Dari *Central Processing Area (CPA)* JOB PPEJ Tuban ke Palang Station dnegan Pendekatan Caesar II. ITS, Surabaya.
- Tawekal Jessica Rianti, Idris Krisnaldi. 2011. Desain dan Analisis Tegangan Pipeline Crossing. Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITB, Bandung.
- Trifinov. V, P. Vladimir. 2012. *Elastoplastic Stress-Strain Analysis of Buried Steel Pipelines Subjected to Fault Displacments With Account For Service Loads*. Rusia.
- Xiaonan Wu, Yi Jiang, Hongfang Lu, Shinjuan Wu and Xiaoxiao Chen. 2013. *Stress Analysis of Shallow Sea Gas Pipeline*. Beijing, Cina.
- Sharma Payal, Tiwari Mohit, and Sharma Kamal. 2014. *Design and Analysis of a Process Plant Piping System*. India.
- Huang Kun, Wu Shijuan, Liqiong Chen, Lu Hongfang, Lv Yitang, and Wu Jiang. 2014. *Stress Analysis of Oil and Gas Pipeline Parallel Laying when Traversing Tunnels*. China.
- Alkazraji Duraid. 2008. *Aquick Guide Pipeline Engineering*. Inggris.
- Bai Yong. 2003. *Pipelines and Risers*. Amerika.
- ANSYS, Inc. 2009. *ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide*. Amerika.
- ANSYS, Inc. 2009. *ANSYS AQWA Help in Workbench*. Amerika.
- Prastianto Rudi Walujo. 2006. *Vortex Shedding*.

- Det Norske Veritas As. 2012. *Offshore Standard DNV OS F101 Submarine Pipeline Systems*. Norway.
- Det Norske Veritas As. 2010. *DNV RP C203 Fatigue Design of Offshore Steel Structures*. Norway.
- Soegiono. 2007. *Pipa Laut*. Surabaya, Airlangga University Press.

# LAMPIRAN 1

## ENVIRONMENTAL AND DESIGN CRITERIA

### General

All elevations are relative to Mean Sea Level (MSL).

#### 1. Platform Location

North of Jakarta

#### 2. Morison Coefficients

Hydrodynamic coefficients are taken in accordance with API RP2A – WSD 21<sup>st</sup> Edition unless overridden to account for un-modeled items.

$C_d = 0.65$ ,  $C_m = 1.6$  members without marine growth

$C_d = 1.05$ ,  $C_m = 1.2$  members with marine growth

$C_d = 2.0$  Flat Plates

#### 3. Current Blockage Factors

The current blockage factors were derived from the jacket geometry for the three principal directions using guidance of Section 2.3.1.b.4 of API RP2A-WSD 21<sup>st</sup> Edition. The API RP 2A-WSD 21<sup>st</sup> edition allows the use of the current blockage factor as follows:

End-on 0.80

Diagonal 0.85

Broadside 0.80

#### 4. *Marine Growth*

Marine growth is applied to all members below MSL. Considering future growth, constant marine growth thickness of 1 inch is used for the analysis.

#### 5. *Corrosion Allowance*

Based on the inspection reports there is no corrosion significantly occurred to the underwater members of the platforms. Therefore the structural thickness on members in the splash zone was not reduced.

#### 6. *Flooded Members*

All brace members were assumed buoyant, and the leg is flooded.

#### 7. *Water depth*

The water depth for the in place analysis is taken as given in Table 1

Table 1. **Water Depth**

<b>Description</b>	<b>Return Periods</b>	
	<b>1 Year</b>	<b>100 Years</b>
Chart datum (ft)	-2.46	-2.46
Highest Astronomical Tide (HAT) (ft)	2.62	2.62
Storm Surge (ft)	0.59	1.02
Maximum Water Depth (ft)	106.78	107.21

#### 8. *Soil Data*

The pile diameter is 36" OD with target pile penetration of 180 ft below mud line.

The soil data is taken from the soil and foundation investigation boring LM Java Sea by McClelland Engineers Inc.

### **In Place Analysis**

#### ***a. Wind Speed:***

The one hour wind velocity has been used in this analysis as given in the following Table 2,

**Table 2. Wind Speed**

<b>Condition</b>	<b>velocity</b>
	<b>Mph</b>
Operating	38.92
Storm	51.9

#### ***b. Waves***

The wave theory used in the static analysis is the Stokes 5<sup>th</sup> order wave theory. The wave heights and corresponding wave period for operating/storm condition is as given in Table 3:

**Table 3. Wave Height and Wave Period**

<b>Returns Periods</b>	<b>Maximum Wave Height (ft)</b>	<b>Period (sec)</b>
1 year return operating	13.45	6.4
100 years return storm	21.65	7.6

#### ***c. Current***

An omni-directional current profile as shown below was used based on operating and storm. The current data is listed below:

Table 4. **Current Data**

Percentage Water Depth above mud-line	1-Year Return Storm Current Velocity (Ft/Sec)	100-Year Return Storm Current Velocity (Ft/Sec)
0	2.59 (0.75 m/s)	4.00 (1.22 m/s)
10	2.26 (0.69 m/s)	3.28 (1.00 m/s)
20	2 (0.61 m/s)	2.76 (0.84 m/s)
30	1.8 (0.55 m/s)	2.36 (0.72 m/s)
40	1.67 (0.51 m/s)	2.07 (0.63 m/s)
50	1.57 (0.48 m/s)	1.87 (0.57 m/s)
60	1.51 (0.46 m/s)	1.71 (0.52 m/s)
70	1.44 (0.44 m/s)	1.61 (0.49 m/s)
80	1.41 (0.43 m/s)	1.51 (0.46 m/s)
90	1.38 (0.42 m/s)	1.48 (0.45 m/s)
100	1.38 (0.42 m/s)	1.41 (0.43 m/s)

*d. Static Loading*

The dead load consists of self weight of deck and jacket primary structural steel, and appurtenances (risers, etc) which is generated automatically by the GT Strudl Program. The self weight has been increased by 9% to allow connection, weld, etc. Live loads, equipments and miscellaneous loads are applied according to the conditions analyzed as found from data and drawings.

**Fatigue Analysis**

*a. Wave Occurrences: (1 year)*

A deterministic fatigue analysis was performed using the following wave heights, for wave directions 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, and 315°.

The wave occurrences for the fatigue life analysis are listed in Table 5:

**Table 5. Wave Occurrences**

Height (ft)	Wave Occurrences								Total
	315°	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	No. Wave
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	s
0.41	271300	215400	1619700	460900	177800	120400	224000	501000	3590500
1.23	176200	108800	1521500	21600	68600	73100	227000	531500	2728300
2.051	48500	23200	760100	50400	11500	18500	105800	282000	1300000
2.871	12400	4700	341200	11100	1300	3700	41600	131300	547300
3.691	3600	1300	148200	2600	100	700	15500	60600	232600
4.511	1300	300	63000	700	0	200	5700	28100	99300
5.331	500	100	26600	200	0	0	2100	13300	42800
6.152	300	0	11000	0	0	0	800	6400	18500
6.972	200	0	4500	0	0	0	200	3200	8100
7.792	0	0	1800	0	0	0	100	1600	3500
0.410	0	0	700	0	0	0	0	800	1500
1.23	0	0	200	0	0	0	0	400	600
2.051	0	0	100	0	0	0	0	200	300

Table 6. **Wave Period**

<b>Height (ft)</b>	<b>Wave Period</b>							
	<b>315°</b>	<b>0°</b>	<b>45°</b>	<b>90°</b>	<b>135°</b>	<b>180°</b>	<b>225°</b>	<b>270°</b>
	<b>N</b>	<b>NE</b>	<b>E</b>	<b>SE</b>	<b>S</b>	<b>SW</b>	<b>W</b>	<b>NW</b>
0.41	3.04	2.65	3.45	2.33	2.13	2.56	3.19	3.46
1.23	3.71	3.60	4.25	3.29	3.02	3.14	3.56	4.00
2.051	4.13	4.06	4.68	3.73	3.30	3.36	3.83	4.35
2.871	4.54	4.52	5.03	4.11	3.35	3.53	4.12	4.66
3.691	4.89	5.19	5.32	4.42	3.50	4.07	4.40	4.95
4.511	5.35	5.50	5.56	4.93	-	4.00	4.68	5.20
5.331	5.90	5.80	5.75	5.00	-	-	4.83	5.39
6.152	5.95	-	5.89	-	-	-	5.00	5.56
6.972	6.00	-	5.99	-	-	-	5.25	5.81
7.792	-	-	6.4	-	-	-	5.50	5.88
0.410	-	-	6.21	-	-	-	-	6.00
1.23	-	-	6.40	-	-	-	-	6.25
2.051	-	-	6.50	-	-	-	-	6.50





### LAMPIRAN 3

## LAMPIRAN 4

# SPECIFICATION FOR LINE PIPE

Doc. No.

LWJ-02-REK-SU-SPC-001

REV

4

Date

18-Apr-11

By

FC

Chkd

BSR

Apvd

GUZ

## 6. LINE PIPE REQUIREMENTS

### 6.1. GENERAL

In general, the SAWL line pipes shall be manufactured and tested in accordance with the requirements in Section 7 of DNV-OS-F101 with additional requirements in this project specification.

Mechanical and corrosion testing of the line pipes shall be conducted in accordance with Appendix B of DNV-OS-F101.

Welding of the line pipes shall be performed in accordance with Appendix C DNV-OS-F101 and all Non-Destructive Testing (NDT) shall be conducted in accordance with Appendix D of DNV-OS-F101. Line pipe Manufacturer shall provide MPS, QA/QC Manual & Procedure, ITP with detail test and acceptance criteria as per DNV-OS-F101 (2007) for COMPANY review and approval.

### 6.2. MANUFACTURING

Pipe Manufacturer shall prepare a Manufacturing Procedures Specification (MPS) and a Manufacturing Procedure Qualification Test (MPQT) and seek COMPANY approval prior to commencement of production. The MPS and MPQT shall be in accordance with the requirements in Section 7, A600 of DNV-OS-F101.

### 6.3. LINE PIPE PROPERTIES

The line pipes shall have the properties shown in Table 6-1 below:

**Table 6-1: Line Pipe Properties**

Properties	Unit	Value
Outside Diameter	mm	610
Thickness ( $t_{nom}$ )	mm	14.3 <sup>(1)</sup> and 17.5 <sup>(2)</sup>
Length Minimum	meter	12.15
Material Grade	-	C-Mn (DNV SAWL Grade 450 FUD)
SMYS	MPa	450
SMTS	MPa	535
NDT Level	-	NDT Level II (Ref. to Appendix D, DNV-OS-F101)
Density	kg/m <sup>3</sup>	7850
Internal Corrosion Allowance	mm	1.00
Young's Modulus	GPa	207
Poisson's Ratio	-	0.30

<b>SPECIFICATION FOR LINE PIPE</b>		Doc. No. LWJ-02-REK-SU-SPC-001		REV 4
		Date 18-Apr-11	By FC	Chkd BSR
		Apvd GUZ		

Properties	Unit	Value
Thermal Expansion Coefficient	°C <sup>-1</sup>	11.7 x 10 <sup>-6</sup>
Thermal Conductivity	W/m°C	45
Design Temperature	°C	Max. 65°C, Min. -29°C
End Finish	-	Bevel End (V-groove)

Notes: (1) Line pipe for pipeline  
(2) Mother pipe for induction bend

**6.4. MATERIAL PROPERTIES**

Material of the line pipes shall be suitable for field welding. The weldability of the line pipes shall be as follows:

- Steel shall have adequate weldability for all stages of manufacture, fabrication & installation of the pipeline, including field contingency condition and anode installation.
- Welding and welding procedures, welding personnel, handling of welding consumables, and the execution of welding shall meet the requirements in Appendix C of DNV-OS-F101. Requirements for the methods and procedures for the mechanical and corrosion testing are those as given in Appendix B of DNV-OS-F101.

**6.4.1. CHEMICAL COMPOSITION**

The chemical composition of the line pipes shall comply with the requirements in Table 7-4, Section 7 of DNV-OS-F101 (For delivery condition M thermo-mechanical formed or rolled).

**6.4.2. SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS**

**6.4.2.1. SUPPLEMENTARY REQUIREMENT S (SOUR SERVICE)**

Supplementary Requirement S is not required for the line pipes as the pipeline is for non-sour service condition (sweet gas).

**6.4.2.2. SUPPLEMENTARY REQUIREMENT F (FRACTURE ARREST PROPERTIES)**

As per COMPANY's request, Supplementary Requirement F is required for the scoped pipeline to meet the fracture toughness requirements.

<b>SPECIFICATION FOR LINE PIPE</b>	Doc. No. LWJ-02-REK-SU-SPC-001			REV 4
	Date 18-Apr-11	By FC	Chkd BSR	Apvd GUZ
<p><b>6.4.2.3. SUPPLEMENTARY REQUIREMENT P (LINE PIPE FOR PLASTIC DEFORMATION)</b></p> <p>Supplementary Requirement P is not required for the line pipes as the pipeline will not be reeled and it is also unlikely that the pipeline will be exposed to plastic deformation judging from the shallow water depth.</p> <p><b>6.4.2.4. SUPPLEMENTARY REQUIREMENT D (ENHANCED DIMENSIONAL REQUIREMENTS FOR LINE PIPE)</b></p> <p>Supplementary Requirement D shall be applied within this material requirement. Applying Supplementary Requirement D provides tighter geometric requirements on dimensions particularly wall thickness (+ve tolerance), diameter and ovality of pipe (pipe ends only), resulting in better fittings and fewer complications during welding.</p> <p><b>6.4.2.5. SUPPLEMENTARY REQUIREMENT U (HIGH UTILISATION)</b></p> <p>As per COMPANY's request, the line pipes shall meet Supplementary Requirement U.</p>				

## **BIODATA PENULIS**



Penulis, Rafli Ramadani lahir di Surabaya pada tanggal 5 Maret 1993. Penulis menghabiskan waktunya berdomisili di Surabaya. Setelah lulus dari SMA Negeri 4 Surabaya, penulis melanjutkan pendidikannya di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK, ITS pada tahun 2011 dan terdaftar sebagai mahasiswa aktif dengan NRP 4211 100 017.

Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, penulis mengambil bidang studi Marine Machinery and System (MMS). Selain mengikuti perkuliahan, penulis juga tercatat sebagai member di Laboratorium Marine Machinery and System (MMS) di bawah bimbingan Bapak Sutopo Purwono Fitri, ST., M. Eng., Ph. D. penulis juga pernah aktif di organisasi kemahasiswaan dan pernah tercatat sebagai pengurus HIMASISKAL, serta aktif juga di organisasi kepemudaan di Surabaya, yaitu Surabaya Youth.